

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции
(г. Пермь, 9–11 июня 2021 г.)

В двух томах
Том 1

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2021

УДК 685.325.05

Проведение конференции инициировано ученым советом электротехнического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета и ориентировано на публичную апробацию результатов научно-исследовательских работ молодых ученых, аспирантов и студентов по аспектам научных исследований электротехнического профиля.

Конференция проводится по пяти секциям: «Информационные технологии и автоматизированные системы», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Электротехника и энергетика», «Телекоммуникации», «Информационная безопасность».

Публикуемые результаты исследований могут быть интересны широкому кругу специалистов в области автоматизации и проектирования современных систем автоматизации и управления, информационных технологий, математического моделирования технологических процессов, систем преобразования и обработки информации.

Редакционная коллегия:

В.В. Черняев, доцент, канд. техн. наук;

Д.К. Елтышев, доцент, канд. техн. наук (отв. редактор);

Б.В. Кавалеров, доцент, д-р техн. наук;

А.Б. Петроченков, доцент, канд. техн. наук;

Н.М. Труфанова, профессор, д-р техн. наук;

Р.А. Файзрахманов, профессор, д-р экон. наук;

А.А. Южаков, профессор, д-р техн. наук

Рецензент

заслуженный деятель науки РФ, заслуженный машиностроитель Республики Башкортостан, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета *Г.Г. Куликов*

ISBN 978-5-398-02673-3 (т. 1)

ISBN 978-5-398-02672-6

© ПНИПУ, 2021

Секция I

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ**

В.В. Семенюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ

Рассмотрен вопрос исследования видов эмоций и характерных признаков эмоционального состояния человека в речи. Описан реализованный экспериментальный проект по распознаванию эмоционального состояния человека по голосу на основе звуковых отпечатков и сверточной нейронной сети. Программный продукт был протестирован аудиофайлами с выделенной эмоцией. В результате тестирования экспериментального проекта наибольшую точность распознавания имеют негативные эмоции (эффективность распознавания составила около 80 %), наихудшие показатели – у нейтральных эмоций.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети, машинное обучение, методы идентификации эмоционального состояния человека по голосу, технология аудио-fingerprint, распознавание эмоций человека по голосу.

V.V. Semenyuk

STUDY OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR RECOGNIZING HUMAN EMOTIONS BY HIS SPEECH

This article discusses the issue of studying the types of emotions and characteristic signs of a person's emotional state in speech. The implemented experimental project for the recognition of the emotional state of a person by voice based on sound prints and a convolutional neural network is described. The software product has been tested with highlighted emotion audio files. As a result of testing the experimental project, negative emotions have the highest recognition accuracy (the recognition efficiency was about 80 %), the worst indicators are for neutral emotions.

Keywords: convolutional neural networks; machine learning, methods for identifying a person's emotional state by voice, audio-fingerprint technology, recognition of human emotions by voice.

Цели и задачи исследования состоят в повышении качества компьютерного распознавания эмоционального состояния человека по голосу, описании и практической реализации алгоритма распознавания эмоционального состояния человека по голосу.

Эмоциональное состояние человека, которое может зависеть от различных факторов, является одним из самых трудно описываемых аспектов жизни. Естественно, есть определенные общие понятия описания той или иной эмоции, но выражение эмоции может быть разным и не всегда можно точно распознать тип. Выражение эмоционального состояния не только зависит от биофизических характеристик человека, есть еще множество факторов, влияющих не только на высказывание, но и на толкование эмоций. Так как все люди разные и нет идентично похожих людей, то и эмоциональный фон у каждого разный, поэтому как восприятие, так и выражение зависят исключительно от отдельно взятого индивидуума. Эмоциональное состояние воспринимается в целом как визуально (выражение лица, поведение и т.д.), так и на слух (голос, речь). Достоверно практически невозможно определить, со стопроцентным результатом, какую именно эмоцию в данный момент времени испытывает оппонент, даже используя все факторы восприятия. Возможно только попасть в некий диапазон вида эмоций. Например, можно определить вид эмоции – печаль, но определить, в какой мере или с какими оттенками другой эмоции, – практически невозможно. Задача усложняется еще и тем, что необходимо определить эмоциональное состояние не по множеству факторов, а имея только речь. Благодаря паралингвистическим средствам общения, которые связаны с речью (к ним относятся интонация, высота звука, ритм, громкость, тембр, речевые паузы и их локализация), и экстралингвистическим средствам общения – они не связаны с речью, но несут в себе важную информацию в определении эмоционального фона (к ним относятся смех, кашель, вздохи, плач и т.д.), есть возможность определить и разделить эмоции на виды и подвиды.

Для реализации поставленной задачи повышения качества компьютерного распознавания эмоционального состояния человека по голосу был разработан и реализован следующий подход:

1. Для реализации процесса распознавания использовалась сверточная нейронная сеть, так как за счёт такого подхода можно обеспечить более быстрый результат распознавания. Для того чтобы использовать сверточную нейронную сеть для аудиозаписей, был реализован метод звукового отпечатка (audio fingerprint). С помощью метода звукового отпечатка аудиофайлы эталонной базы данных были преобразованы в изображения. На вход поступала частотная

синусоида сигнала, затем с помощью скрипта из синусоиды была сгенерирована спектрограмма. Так как для работы использовались аудиофайлы с выделенной эмоцией, то для анализа не требовалось разбиение аудиофайла на фрагменты, фреймы или окна.

2. Для обучения нейронной сети использовались аудиозаписи, которые содержали характерные признаки той или иной эмоции – эталонная база данных. Такая база данных содержит в себе аудиозаписи профессиональных актеров, которые выражают определенный вид эмоционального состояния. Использовалась выборка, состоящая из 4500 аудиофайлов, каждый из которых содержал фрагмент эмоционально окрашенной слитной фразы. Использовались записи двадцати четырех профессиональных актёров (12 женщин и 12 мужчин).

3. В качестве эксперимента было принято решение выполнять 2 типа анализа, когда эмоции разбиты на 3 класса (позитивные, негативные и нейтральные) и на 8 классов, для попытки более точной классификации (агрессия, спокойствие, отвращение, страх, счастье, нейтральное состояние, печаль, удивление). Для реализации данной задачи были созданы две концептуальные модели для каждого из подходов, с различным количеством выходных нейронов. Но для чистоты эксперимента модели для обоих подходов имели одинаковую структуру.

4. Объем тестовой выборки составил 956 записей. Тестирование выполнялось в несколько этапов – классификация групп (тестирование набора данных) по классам – процентная оценка и тестирование каждого файла в отдельности. На рис. 1 показаны результаты правильного распознавания (в процентах) по обобщенному тестированию для группы из трёх классов (*а*) и для группы из восьми классов эмоций (*б*).

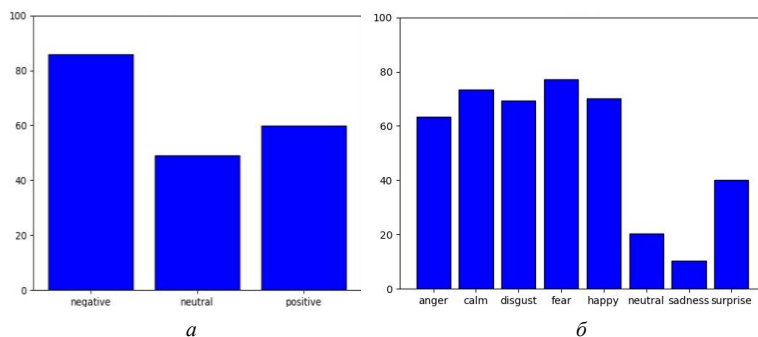


Рис. 1. Результаты правильного распознавания: *а* – для группы из трех классов; *б* – для группы из восьми классов эмоций

На рис. 2 показан пример результата тестирования отдельных образцов для трех (слева) и восьми (справа) классов: показаны результаты для эмоции «агрессия» – частотная синусоида сигнала, спектрограмма и вывод результата на графический интерфейс с временным значением.

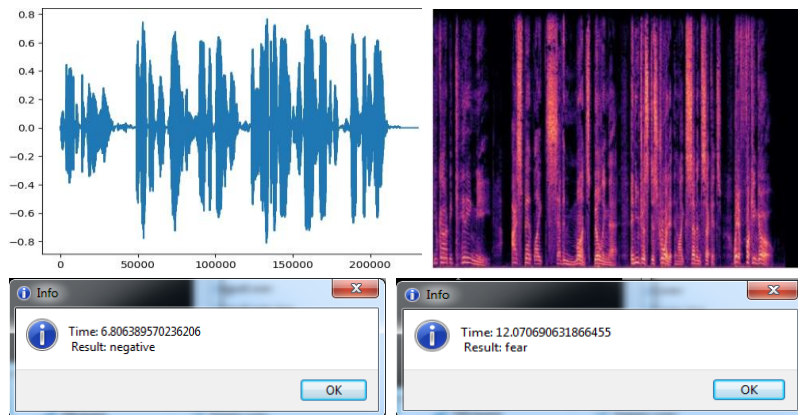


Рис. 2. Результат для эмоции «агрессия»

Экспериментальные исследования показали, что среди обобщенных классов эмоций лучше всего распознаются негативные эмоции – более 80 %, положительные – 60 %, нейтральные эмоции – 50 %, а среди конкретных классов эмоций лучше всего распознается страх – более 80 %, спокойствие – 75 %, отвращение – 70 %, счастье – 70 %, агрессия – 65 %, удивление – 40 %, нейтральные эмоции – 20 %, хуже всего печаль – 15 %. Предположительно, для улучшения точности распознавания можно применить дополнительные характеристики фреймов сигнала, полученные алгоритмом MFCC. Алгоритм MFCC учитывает волновую природу звука и психофизическое восприятие звука человеком, устойчив к изменению тембра голоса, громкости и скорости произношения*.

Сведения об авторе

Семенюк Виктория Валерьевна – магистр Донецкого национального университета, г. Донецк, e-mail: semenuk.viktoriya@gmail.com

*Оппенгейм А.В., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2012. – 1048 с.

Н.В. Сурин

БИНАРНАЯ НЕЙРОСЕТЬ КАК МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ ЭВМ

Исследуется возможность использования бинарных нейросетей в автоматизированных процессах. Продемонстрировано преобразование обычной нейросети в бинарную. Описан общий ход всего алгоритма модели, в том числе и метода обучения, представлен анализ работы бинарной нейросети.

Ключевые слова: нейросеть, бинарная нейросеть, машинное обучение, искусственный интеллект.

N.V. Surin

BINARY NEURAL NETWORK AS MACHINE LEARNING FOR LOW-POWER COMPUTERS

In this article, I will explore the possibility of using binary neural networks in automated processes. I demonstrated the transformation of a normal neural network into a binary neural network. I described the general course of the entire algorithm of the model, including the training method, and presented an analysis of the binary neural network.

Keywords: neural network, binary neural network, machine learning, artificial intelligence.

В современных условиях нейросети применяются во многих автоматизированных процессах, поскольку они предоставляют возможность решить многие задачи при помощи одного и того же алгоритма, а не искать довольно сложное решение для каждой задачи отдельно, однако за эту обобщенность приходится платить точностью результата и вычислительной мощностью. С другой стороны, в наше время происходит активное распространение концепции «интернет вещей», которая обычно подразумевает под собой использование маломощных ЭВМ. Если мы попытаемся соединить концепции «нейросеть» и «интернет вещей», то сразу столкнемся с рядом сложностей, одна из них связана с тем, что скромные возможности большинства устройств «немного» конфликтуют с необходимым условием нормальной работы нейронных сетей. Одной из стратегий решения данной проблемы является снижение нагрузки на процессор путем

использования более простых операций, например бинарных. Попробуем реализовать данную идею.

Для начала рассмотрим механизм работы искусственного нейрона [1, с. 10]. На рис. 1 *Рис.* представлена схема его работы.

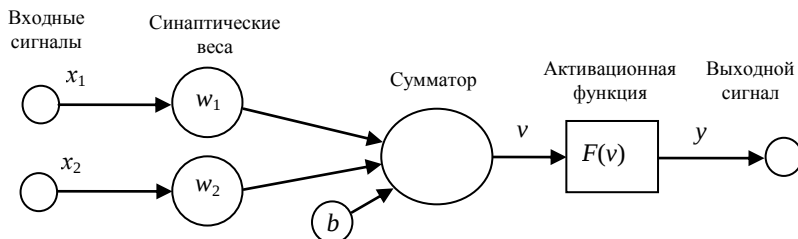


Рис. 1. Блок-схема нелинейной модели нейрона: x_1, x_2 – входные сигналы; w_1, w_2 – синаптические веса нейрона; v – линейная комбинация входных воздействий; b – порог; $F(\cdot)$ – функция активации; y – выходной сигнал нейрона

Выходной сигнал вычисляется для приведенной выше схемы по формуле (1):

$$y = F(x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + b). \quad (1)$$

Как видно, в формуле (1) задействованы операции умножения и сложения. Чтобы облегчить эти действия, можно перейти к бинарной системе. Бинарные операции вычисляются процессором гораздо быстрее операций над вещественными числами. Однако операция вещественного умножения не равна операции бинарного умножения (логическое «И»), поэтому заменим её на некоторую неизвестную бинарную функцию f , и получится выражение (2):

$$y = F(f(x_1, w_1) + f(x_2, w_2) + b). \quad (2)$$

Можно представить функцию f как сложную суперпозицию от m разных бинарных функций и соответственно значение w_1 распадется на $w_{11}, w_{12} \dots w_{1m}$. В таком случае обучение не просто усложнится, но станет просто невозможным, ведь придется использовать метод перебора всех вариантов, что при больших бинарных значениях будет выполняться очень долго. Это означает, что функция f должна быть максимально простой, поэтому мы все же решаемся представить ее в виде бинарного умножения. Какой же результат мы сможем получить? Для этого необходимо понять суть используемых операций. Рассмотрим нейрон обычной нейросети, его выходной

сигнал (в самом простом случае) показывает, насколько предоставленный пример можно отнести к заранее заданному классу (с вероятностью от 0 до 1). Соответствующий вес w_i показывает, насколько влияет соответствующий входной сигнал x_i на принадлежность к классу. Смещение b необходимо для корректной работы активационной функции. Но что будет означать тогда логическое умножение? Рассмотрим конкретный пример – фильтр Блума. Фильтр Блума показывает, является ли предоставленный пример одним из заданного множества, и дает ответ: нет/возможно [2]. Проще говоря, можно ли отнести объект к классу. Для наглядности рассмотрим рис. 2.

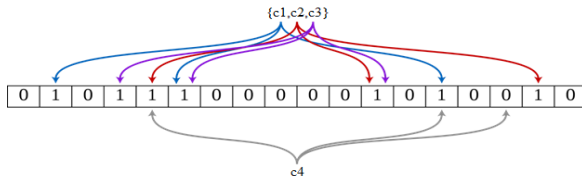


Рис. 2. Схема работы фильтра Блума: c_1 , c_2 и c_3 – элементы множества $\{c_1, c_2, c_3\}$; элемент c_4 не принадлежит множеству $\{c_1, c_2, c_3\}$

Работа фильтра может быть представлена следующим образом: изначально задается некоторое множество из элементов, например c_1 , c_2 и c_3 , затем вычисляются h разных хеш-функций для каждого элемента, значения хеш-функций переводятся в числа, которые означают номера, где должна стоять единица в массиве фильтра Блума, собственно туда единицы и записываются. Для проверки принадлежности элемента множеству для него вычисляют те же h хеш-функций и смотрят, равно ли логическое умножение массива фильтра на массив примера самому массиву примера, если есть хотя бы одно несоответствие, то заданный элемент точно не принадлежит множеству (на рис. 2 элемент c_4), иначе, скорее всего, принадлежит (неточно, так как возможно случайное совпадение).

Попытаемся перенести фильтр Блума в нашу систему (суммирование останется, но это не критично, так как оно выполняется быстрее вещественного умножения). Здесь возможно несколько вариантов, один из них – это «обратный фильтр Блума». Будем считать, что входной пример и есть фильтр множества, а веса w_i – элементы. То есть мы будем искать в разных множествах одни и те же элементы. А выход нейрона будет говорить о принадлежности примера

к классу по тому, сколько было найдено элементов, принадлежащих данному классу. Этот вариант весьма интересен, но имеет свои «подводные камни», которые можно попытаться минимизировать. Во-первых, существует проблема того, насколько влияет каждый элемент на сумму v . Можно было бы ввести «веса для весов», но это глупо, и произойдет возврат к вещественному умножению. Взглянем на фильтр Блума: чем меньше единиц в массиве элемента, тем больше вероятность случайного срабатывания, и наоборот, поэтому будем считать, что чем больше единиц в совпадающем массиве, тем больше влияет элемент на принадлежность к классу.

Во-вторых, если призадуматься, то для решения некоторых задач важно знать не только конкретные входные сигналы, но и их сочетания, поэтому гораздо продуктивнее объединить значения, полученные после преобразования в фильтр, в один бинарный массив. Элементы w_i будут следить за одним и тем же массивом, но сами будут представлять из себя разные бинарные массивы.

В-третьих, для корректной работы функции активации можно, помимо смещения b , ввести коэффициент k , который умножает сумму для более точной подстройки. Да, мы возвратимся к вещественному умножению, но оно будет всего лишь одно.

Следует сразу сказать и про быстрый метод вычисления хеш-функций: просто будем производить операцию «сложение по модулю 2» с сгенерированными случайными массивами, а затем переводить получившееся значение в номер массива, где должна стоять единица. Для каждого входного сигнала вычисляется h различных хеш-функций, а затем все они собираются путем логической операции «ИЛИ» в один массив. Введем обозначение для получившегося массива для примера j как R_j . Теперь можно вывести формулу (4) для вычисления выходного значения y :

$$P_i = \begin{cases} 0, w_i \cdot R_j \neq w_i, \\ f^1(w_i), w_i \cdot R_j = w_i, \end{cases} \quad (3)$$

$$y = F(k \cdot (\sum P_i) + b). \quad (4)$$

В формуле (3) $w_i \cdot R_j$ есть бинарное умножение w_i на R_j . Функция f^1 в формуле (3) вычисляет количество единиц в бинарном представлении числа. Можно заметить, что получившаяся модель чем-то похожа на модель элементарного перцептрона, что естественно, ведь обе модели оперируют бинарными сигналами [3, с. 83].

Перейдем к задаче обучения нейросети. Вычислить производную для битовых операций не получится (булева производная существует, но несет другой смысл, нежели вещественная). Разобьем одну эпоху обучения на несколько этапов.

Нулевой этап (только для первой эпохи). Нам предоставили список входных примеров и список соответствующих ожидаемых выходов. Инициализируем каждый w_i случайным R_j из списка примеров, где соответствующий ожидаемый выход равен единице.

Первый этап. Введем для каждого w_i вещественный единичный массив g_i . Будем подавать на вход примеры и говорить, должен ли быть активен нейрон по соответствующему ожидаемому выходу. Нам необходимы не просто самые частые биты, а самые частые сочетания, поэтому если нейрон должен быть активен и совпало хотя бы $d1$ единиц из $w_i \cdot R_j = w_i$, то будем складывать g_i с произведением совпавших битов и их суммы, а затем делить на максимальное значение из g_i .

Второй этап. После перебора всех примеров удалим из w_i соответствующие номера из массива g_i , где значения меньше некоего порога Q . И если после очистки единиц в w_i будет меньше некоего порога $d2$, то необходимо заменить w_i на случайный R_j (все g_i становятся снова равными единичным при новой эпохе).

Третий этап. Создадим целочисленные массивы $U0$ и $U1$. Если нейрон должен быть активен и w_i активно (то есть $w_i \cdot R_j = w_i$) или же оба неактивны, то добавим к $U1_i$ единицу. Если нейрон не должен быть активен и w_i активно или же наоборот, то добавим $U0_i$ единицу. Поделим $U1_i$ на $U0_i$, и если отношение будет меньше N (можно использовать наименьшее значение $U1_i/U0_i$ из предыдущей эпохи), то заменим w_i на случайный битовый массив R_j .

Четвертый этап. Корректируем k и b . Для этого снова пройдемся по всем примерам. Посчитаем для каждого примера сумму P_i , и если нейрон должен быть активен, то добавляем P_i в список $L1$, а если неактивен, то в список $L0$. Проанализируем списки. Найдем, например, средние значения для обоих списков: $L1_{cp}$ и $L0_{cp}$. Так как обычно функции активации не достигают своих крайних значений, то получим следующую систему (5):

$$\begin{cases} 0,99 = F(k \cdot L1_{cp} + b), \\ 0,01 = F(k \cdot L0_{cp} + b). \end{cases} \quad (5)$$

Вышеуказанную систему уравнений (5) можно решить разными способами, например методом перебора.

Вышеописанная модель была реализована в форме компьютерной программы и протестирована. Во время испытаний были использованы следующие входные примеры: данные для обучения состояли из трех цифр – первого аргумента (от 0 до 7), второго (от 0 до 7) и их суммы (от 0 до 15), если сумма была верной, то соответствующий элемент из списка ожидаемых выходов был равен 1, иначе 0. Были использованы следующие параметры: количество примеров равно 25 (22 из них верны), количество примеров для проверки предсказания равно 5 (4 из них верны), количество хеш-функций $h = 3$, длина фильтра равна 16, $d1 = 6$, $d2 = 6$, $Q = 70 \%$, количество w_i равно 22.

Были получены следующие лучшие результаты: минимальный процент средней ошибки обучения равен 12 и соответствующий максимальный процент ошибки обучения равен 64, что хуже показателей обычной нейросети [4, с. 26].

Более детально можно посмотреть на рис. 3.

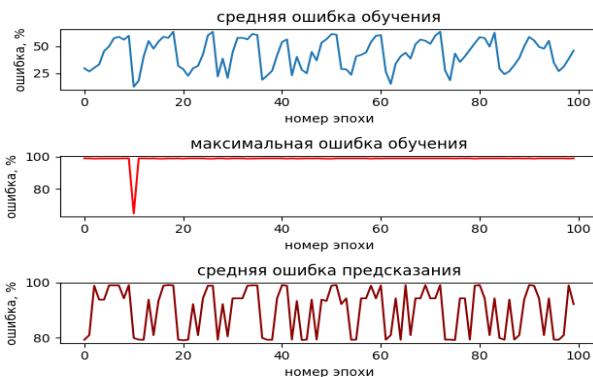


Рис. 3. Линейные графики зависимости различных вариантов ошибок от эпохи обучения

После многочисленных повторений алгоритма и анализов графиков можно сказать следующие: после достижения точки минимума средней ошибки обучения происходит рост, который связан с достижением максимальной эффективности данной конфигурации, и последующие эпохи полностью переписывают массивы w_i (см. рис. 3), достижение минимума средней ошибки обучения обычно происходит после одной-двух эпох; нахождение в районе максимума средней

ошибки обучения обычно сопровождается почти полным переписыванием массивов w_i ; средняя ошибка предсказания обычно минимальна с теми входными примерами, которые являются неверными, что логично, ведь нейрон обучен распознавать довольно разные примеры (из-за использования хеш-функций) и предсказать по независимым данным ему сложно, а вот сказать, что этому он точно не обучен, – довольно легко.

Можно сделать следующие выводы. Удалось реализовать вышеописанную систему и представить ее математическую модель, которая использует минимальное количество вещественных операций. Самым затратным действием как бинарной нейросети, так и обычной является обучение, его можно производить на более мощном компьютере и обученные данные переносить на более слабые ЭВМ. Ошибка обучения и предсказания реализованной бинарной модели существенно выше по сравнению со среднестатистической обычной нейросетью, что может быть связано с переходом на бинарные операции. Тем не менее со своей задачей бинарная нейросеть справилась неплохо, и можно сказать, что использование этих систем в маломощных ЭВМ возможно, не стоит забывать и о возможности улучшить данную систему.

Библиографический список

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – С. 382.
2. Burton H. Bloom. Space time trade-offs in hash coding with allowable errors // Communications of the ACM. – 1970. – Vol. 13(7). – P. 422–426.
3. Розенблатт Фрэнк. Принципы нейродинамики. – М.: Мир, 1965. – С. 382.
4. Кириченко А.А. Нейропакеты – современный интеллектуальный инструмент исследователя. Сетевое электронное издание учебного пособия. – 2013. – С. 297. – URL: <https://www.twirpx.club/file/2378541/>

Сведения об авторах

Сурин Николай Владимирович – студент Пермского государственного национально исследовательского университета, гр. ИБАС-2016, г. Пермь, e-mail: n.surin@psu.ru

Е.М. Алеников, А.Ю. Субботская, Н.Н. Васин

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ ПО VPN-ТУННЕЛЮ С РАЗНЫМИ СОЧЕТАНИЯМИ
АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ И ХЕШИРОВАНИЯ
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЗАГРУЗКЕ КАНАЛА**

Исследуется влияние алгоритмов шифрования и хеширования на работу VPN-соединения под нагрузкой. VPN сейчас является основной технологией для обмена конфиденциальной информацией и повсеместно применяется в разных организациях. Так как VPN строится поверх существующей сети, то в канале, где есть VPN, может передаваться и другая информация. Рассматривается изменение скорости VPN-соединения при загрузке канала связи на компьютерной и физической модели.

Ключевые слова: VPN-туннель, шифрование, хеширование, компьютерная модель, физическая модель.

E.M. Alennikov, A.Yu. Subbotskaia, N.N. Vasin

**RESEARCH OF DEPENDENCE OF DATA TRANSMISSION
RATE ON VPN TUNNEL WITH DIFFERENT COMBINATIONS
OF ENCRYPTION AND HASH FUNCTION AT DIFFERENT
LOADS ON THE CHANNEL**

The article examines the impact of encryption and hashing algorithms on the operation of a VPN connection under load. VPN is now the main technology for the exchange of confidential information and is widely used in various organizations. Since a VPN is built on top of an existing network, other also information can be transmitted in the channel where there is a VPN. This article will look at the change in the speed of a VPN connection when loading a communication channel on a computer model and physical model.

Keywords: VPN tunnel, encryption, hash function, computer model, physical model.

Virtual Private Network (VPN), созданная с помощью технологии IPSec, предлагает новый подход к построению закрытых телекоммуникационных сетей. В отличие от выделенной линии VPN требует гораздо меньше ресурсов для ее создания и эксплуатации, так как работает уже поверх имеющейся сети. Однако в связи с этим в канале с VPN-туннелем передается и другая информация, которая может

повлиять на скорость передачи данных по VPN [1]. Для изучения этого влияния в эмуляторе GNS3 была создана компьютерная модель сети с VPN-туннелем, показанная на рис. 1.

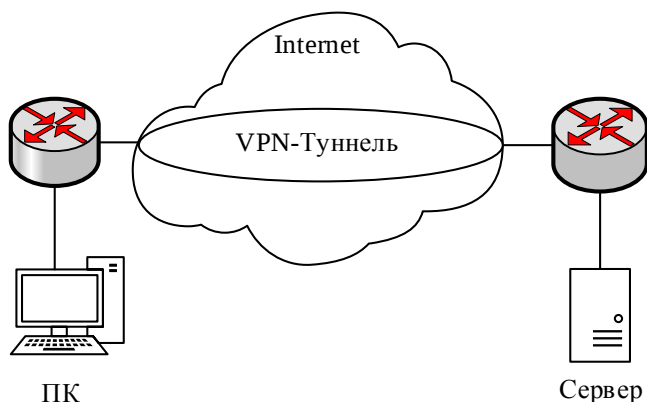


Рис. 1. Компьютерная модель сети с VPN-туннелем

В ходе эксперимента на компьютерной модели сети были созданы два типа VPN-соединений: Site-to-Site, Client-to-Site. Для каждого из них проведено четыре эксперимента с различными типами шифрования и хеширования: aes/sha, aes/md5, 3des/sha, 3des/md5 [2]. Суть исследования состояла в том, что во время загрузки одного файла с FTP-сервера по VPN-туннелю постепенно добавлялись файлы одинакового размера для скачивания, тем самым увеличивая нагрузку на канал связи. Значения скорости загрузки исходного файла были зафиксированы после постепенного увеличения числа загружаемых файлов. Результаты исследования на компьютерной модели приведены на рис. 2.

Из результатов эксперимента видно, что с увеличением нагрузки на канал связи скорость загрузки первого файла с FTP-сервера снижается. В VPN типа Site-to-Site параметры aes/sha и aes/md5 поддерживают самую высокую скорость передачи файлов. У технологии Client-to-Site типы шифрования/хеширования aes/sha обеспечивают более высокую скорость загрузки, чем у Site-to-Site. Однако при сочетании алгоритмов шифрования/хеширования 3des/md5 и 3des/sha при большой нагрузке на канал связи VPN-туннель «разрушается» и дальнейшее его использование невозможно.

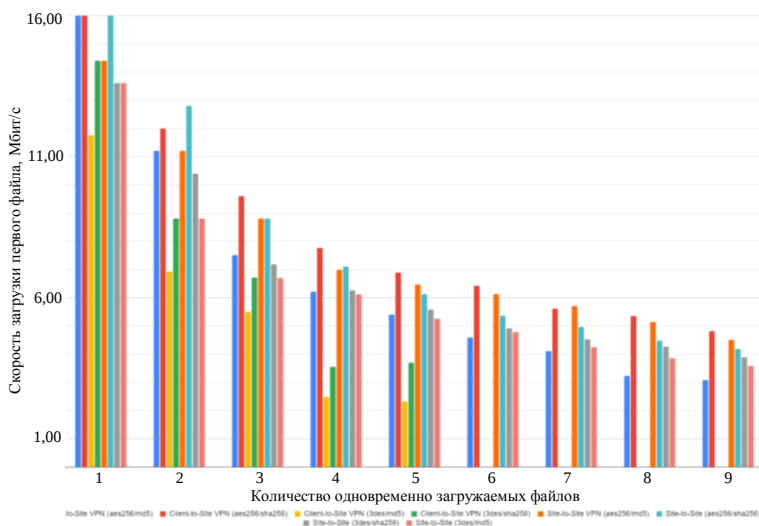


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования

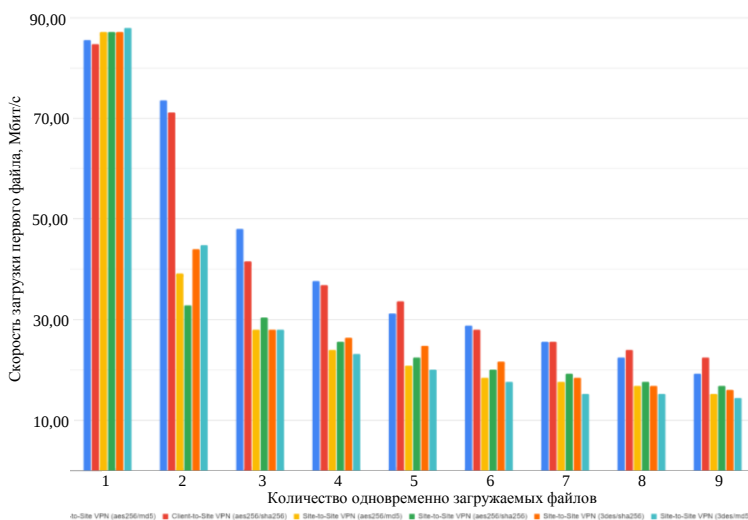


Рис. 3. Результаты физического моделирования

Для проверки достоверности полученных результатов компьютерного моделирования необходимо провести аналогичный эксперимент на физической модели. Для этого в лаборатории ПГУТИ был создан

программно-аппаратный комплекс на базе маршрутизаторов нового поколения с интегрированными услугами Cisco RV340 [3]. Результаты эксперимента на физической модели представлены на рис. 3. Как и при компьютерном моделировании, при увеличении нагрузки на канал связи скорость загрузки первого файла снижается. У технологии Site-to-Site типы шифрования/хеширования aes/sha и 3des/sha поддерживают самые высокие скорости передачи файлов. При использовании VPN типа Client-to-Site с параметрами aes/sha и aes/md5 скорости загрузки выше, чем при использовании технологии Site-to-Site.

Исходя из приведенных в работе результатов компьютерного и физического моделирования можно подвести итоги:

- при увеличении нагрузки на канал связи скорость передачи файла по VPN-туннелю снижается при любой технологии VPN-соединения;
- сейчас для организации VPN рекомендуется применять алгоритмы шифрования и хеширования aes/sha, и, как видно из полученных результатов, при этом сочетании алгоритмов шифрования/хеширования VPN-туннель показывает стабильную работу под нагрузкой, а также имеет высокий показатель скорости по сравнению с другими сочетаниями.

Библиографический список

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 41 с.
2. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 771 с.
3. Cisco Small Business RV Series Routers [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/routers/small-business-rv-series-routers/series.html> (дата обращения: 07.05.2021).

Сведения об авторах

Аленников Евгений Михайлович – магистрант Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, гр. ИКТМ-91, г. Самара, e-mail: ealennikov@yandex.ru

Субботская Анна Юрьевна – магистрант Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, гр. ИКТМ-91, г. Самара, e-mail: subotann@mail.ru

Васин Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: vasin-nn@psuti.ru

Р.А. Файзрахманов, С.С. Мищенко

УПАКОВКА ДВУМЕРНЫХ НЕСТАНДАРТНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ С ОДНОРОДНЫМИ КОНТЕЙНЕРАМИ

Исследуется эвристический метод решения проблемы упаковки двумерных нестандартных контейнеров с однородными контейнерами, когда листы однородны, а возможное решение находится, когда все детали упакованы в контейнеры без перекрытия. Он состоит в том, чтобы свести к минимуму общее количество контейнеров, необходимых для разрезания всех деталей. Метод применяет концепции по нестандартной упаковке полос к упаковке контейнеров.

Ключевые слова: упаковка двумерных нестандартных контейнеров, эвристический метод, упаковка нестандартных полос.

R.A. Fayzrahmanov, S.S. Mishchenko

TWO-DIMENSIONAL IRREGULAR BIN PACKING WITH HOMOGENEOUS BIN

In this article we study the heuristic method for Two-Dimensional Irregular Bin Packing with homogeneous bins where the stock sheets are homogeneous and a feasible solution is found when all the pieces are packed in the bins with no overlap between pieces. The objective this method is to minimise the total number of bins needed to cut all of the pieces. The method draws on irregular strip packing and applies these concepts to bin packing.

Keywords: two-dimensional irregular bin packing, heuristic method, irregular strip packing.

Построения оптимальных карт раскроя материала – это одна из самых важных задач в ресурсосберегающих технологиях, в то же время одна из самых трудоемких задач раскройно-заготовительного этапа. Оптимизация раскроя материалов приводит к уменьшению отходов и, как следствие, снижению себестоимости продукции. Существуют две основные категории методов решения – точные и эвристические методы. Исследования показывают, что точные методы не могут доказать оптимальность раскроя [1]. С другой стороны, эвристические методы были разработаны, чтобы обеспечить хорошее возможное решение.

Эвристический метод включает основные компоненты:

- однопроходный конструктивный алгоритм, который конструирует контейнеры [2];

- решения о размещении, которые допускают вращение частей.

Предлагаемый конструктивный алгоритм представляет существующее частичное решение в виде массива многоугольников m_j , где каждый m_j является многоугольником, сгенерированным путем слияния набора частей, упакованных в области b_j (эквивалентной ячейке). Алгоритм сохраняет любые замкнутые промежутки между частями, когда часть объединяется с существующим частичным решением. Эти промежутки образуют отверстия в объединенном многоугольнике, которые становятся доступными для размещения последующих частей при условии, что площадь отверстия больше, чем площадь самой маленькой распакованной части. Пусть Hk : $h_1, \dots, h_k$ – множество отверстий, образовавшееся после размещения k -й фигуры.

На рис. 1 представлен пример трех областей, которые представляют собой бункеры и содержат несколько упакованных деталей.

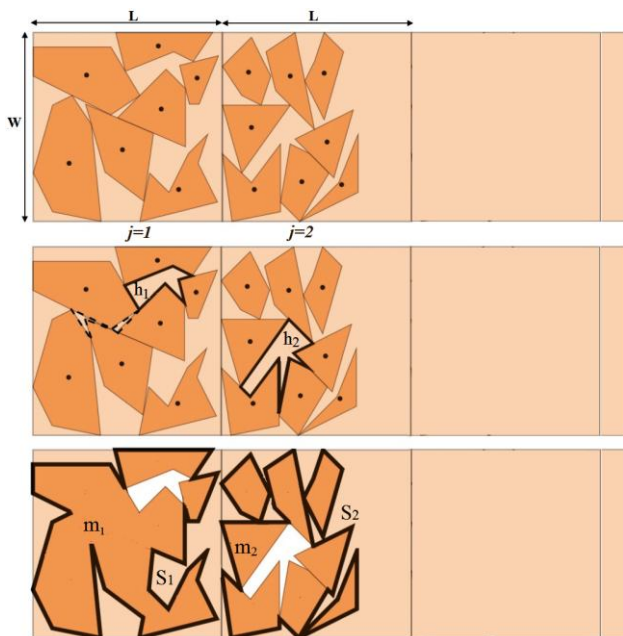


Рис. 1. Частичное решение

Группы упакованных частей объединяются в три многоугольника m_j , которые содержат полезные отверстия hk . Пространства вне m_j обозначаются S_j . Чтобы найти возможные позиции размещения в области контейнеров, содержащей многоугольник m_j , мы генерируем не подходящий многоугольник (НПМ) между внешней границей m_j и p_i , НПМ m_jp_i и внутренний подходящий многоугольник (ВПМ) между областью контейнеров b_j и p_i , ВПМ b_jp_i . Внешний вид и граница НПМ представляют все относительные положения двух компонентов, где они не пересекаются. Пересечение ВПМ b_jp_i и дополнения к НПМ m_jp_i обеспечивают все позиции p_i , так что он содержится внутри b_j и не перекрывает m_j . Предполагается, что b_j и m_j имеют фиксированное положение. Мы рассматриваем только граничный сегмент НПМ m_jp_i , который пересекается с ВПМ b_jp_i , как допустимый набор, который представляет собой все возможные позиции касания между m_j и p_i . Примеры этой оценки на рис. 1.

Позиция размещения будет касаться границы m_j . Каждая точка касания или край определяет два новых угла ориентации. Они показаны на рис. 2.

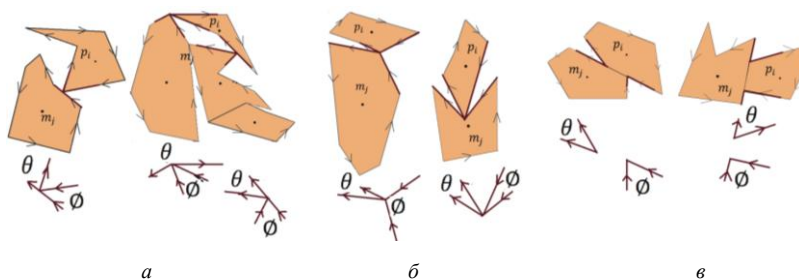


Рис. 2. Настройка угла ориентации: *а* – комбинация «ребро–вершина»; *б* – комбинация «вершина–вершина»; *в* – комбинация «ребро–ребро»

На рис. 2, *а* показана комбинация ребро–вершина, на рис. 2, *б* показана комбинация вершина–вершина, а на рис. 2, *в* показана комбинация ребро–ребро. В каждом случае деталь p поворачивается против часовой стрелки на угол θ и по часовой стрелке на угол ϕ . Второй пример на рис. 2, *а* показывает две отдельные точки соприкосновения, и в результате есть четыре новых ориентации. Они формируют новые возможные ориентации, и, следуя процедуре размещения, мы находим лучшее положение для размещения фигур в этих ориентациях. Они сравниваются с временным положением и ориентацией. Если

ни один из этих новых углов не обеспечивает лучшего положения размещения, тогда алгоритм принимает временное положение и ориентацию в качестве размещения детали.

Данный эвристический метод решения проблемы двумерной упаковки контейнеров нестандартной формы является многообещающим, и его можно применить к задачам упаковки в контейнеры.

Библиографический список

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
2. Валеева А.Ф. Конструктивные методы решения задач ортогональной упаковки и раскроя: Abstract of Doctor's degree dissertation. – Уфа, 2006. – 32 с.

Сведения об авторах

Файзрахманов Рустам Абубакирович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com

Мищенко Семен Сергеевич – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: misemyon88@gmail.com

З.В. Казанцев, А.В. Тарутин

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО
МЕСТА ДЛЯ СБОРЩИКА МАЛОГАБАРИТНОГО ДНГ
В ПАО «ПНППК»**

Цель исследования – проанализировать современные средства измерения для автоматизации процесса замера радиального биения блока статоров в ПАО «ПНППК». Описана деятельность ПАО «ПНППК», перечислены основные характеристики Millimar C 1208 M и Millimar 1318, прибора и индуктивного датчика, использующихся для автоматизации процесса замера радиального биения. Научная новизна работы заключается в использовании возможностей современных средств измерения для создания автоматизированного рабочего места. В результате представлена модель TO-BE разрабатываемой системы.

Ключевые слова: радиальное биение, блок статоров, современные средства измерения, автоматизированное рабочее место.

Z.V. Kazantsev, A.V. Tarutin

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED WORKSTATION
FOR AN ASSEMBLER OF A SMALL-SIZED
DAG AT PJSC “PSPIMC”**

The purpose of the research is to analyze modern measuring instruments for automating the process of measuring the radial runout of the stator unit at PJSC «PSPIMC». The article describes the activities of PJSC «PSPIMC», lists the main characteristics of Millimar C 1208 M and Millimar 1318, a device and an inductive sensor used to automate the process of measuring the radial runout. The scientific novelty of the work lies in using the capabilities of modern measuring instruments to create an automated workplace. As a result, the TO-BE model of the system under development is presented.

Keywords: radial runout, stator block, modern measuring instruments, workstation.

Советская и российская компания «ПНППК» занимается производством датчиков для стабилизации и разработкой сложных систем для навигации движущихся объектов. На сегодняшний день, это одна из ведущих в России компаний – поставщиков навигационных систем и приборов. Также компания имеет научную и исследовательскую базы для изготовления разных типов волокон и волоконно-оптических компонентов.

Компания представляет собой холдинг из пяти заводов, испытательного и научно-технического центров и десяти дочерних компаний. Предприятие является технологической площадкой для создания и внедрения прогрессивных решений в области фотоники и волоконной оптики [1].

Актуальность решения. Использование возможностей современных средств измерения для автоматизации рабочих процессов на предприятии позволяет увеличить эффективность и производительность его сотрудников.

Создание автоматизированных рабочих мест способствует оперативной обработке больших объёмов информации определенной структуры, которая зависит от места применения. Это позволяет осуществлять индивидуальный подход к автоматизации выполняющихся в данном подразделении функций. Внедрение на предприятии автоматизированных рабочих мест помогает сократить время выполнения однотипных работ, увеличить их точность, а также значительно облегчить труд рабочих.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) – это место работника какой-либо профессии, которое оборудовано необходимыми для автоматизации выполняемых им функций средствами. АРМ определяется, как принято, совокупностью программных и технических средств. В качестве технических средств используются преимущественно персональные компьютеры, дополняемые при необходимости иными вспомогательными приборами.

Используемые технические средства. Проанализировав рынок современных измерительных приборов, руководство ПАО «ПНППК» и завода базовых элементов приняло решение для автоматизации процесса замера радиального биения блока статоров приобрести Millimar C 1208 M прибор – показывающий малогабаритный с индуктивным датчиком Millimar 1318.

Millimar C 1208 M представляет собой корпус с ЖК-дисплеем со шкалой и цифровым индикатором, время успокоения стрелки которого примерно 100 мс, а также пятью трехцветными лампами индикации предупредительных границ и пределов допуска. Прибор имеет два входа для индуктивных измерительных щупов; обладает возможностью программирования посредством встроенной клавиатуры или

ПО конфигурации Microsoft Windows. При помощи клавиши SELECT возможен непосредственный вызов часто используемых настроек, а также присутствует возможность одновременной индикации двух признаков. Наряду с интерфейсом для передачи данных RS232, имеется интерфейс для трех цифровых входов и выходов, например соответствие, брак и доработка.

Millimar C 1208 M используется в качестве индикатора для индуктивного измерительного щупа – для простых и сложных измерений, которые могут базироваться на статических или динамических измерениях, и предназначен для производства и лабораторий.

Состав поставки, помимо руководства по эксплуатации, включает в себя штекерный сетевой блок питания (240 В, 63 Гц).

Millimar C 1208 M также содержит специальные принадлежности, такие как блок управления с тремя клавишами, три педальных выключателя для цифровых входов, кабель передачи данных RS232 и штекер для интерфейса ввода/вывода [2].

Внешний вид прибора показан на рис. 1.



Рис. 1. Прибор показывающий малогабаритный
Millimar C 1208 M

Millimar 1318 – рычажно-зубчатый индикатор с индуктивным датчиком. Обладает свободной регулировкой для касания контактной поверхности; высокой защищенностью от внешних воздействий благодаря тому, что измерительная система смещена относительно направляющей и опорной гильзы; прекрасными характеристиками фиксации, стойкостью к химическим реагентам: хорошая устойчивость к воздействию масла, бензина, воды и алифатических углеводородов, умеренная устойчивость к кислотам, щелочам, растворителям и озону [2].

Внешний вид датчика представлен на рис. 2.



Рис. 2. Индуктивный датчик Millimar 1318

Проектирование системы. На рис. 3 представлена модель разрабатываемой системы для автоматизации процесса замера радиального биения блока статоров с целью сокращения времени выполнения работ и повышения их точности за счёт того, что часть работ теперь будут выполнять технические и программные средства, а также значительного облегчения труда сборщика малогабаритного ДНГ.

Описание блоков рис. 3: 1 – сборщик малогабаритного ДНГ, собрав блок статоров на предыдущих этапах сборки, переходит

к замеру его характеристик, в частности его радиального биения¹; 2 – устанавливает блок статоров в Центр; 3 – подводит индуктивный датчик Millimar 1318 к блоку статоров; 4 – вручную придаёт вращение блоку статоров²; 5 – с помощью нажатия на кнопку DATA на Millimar C 1208 M или на специально назначенную клавишу на клавиатуре снимает линейные показатели; 6 – закончив измерения, демонтирует блок статоров из Центра; 7 – после снятия необходимого количества линейных показателей ИС рассчитает радиальное биение блока статоров; 8 – создаст POST-запрос для добавления показателей радиального биения блока статоров в базу данных; 9 – радиальное биение блока статоров успешно добавлено в БД для дальнейшего хранения и анализа.

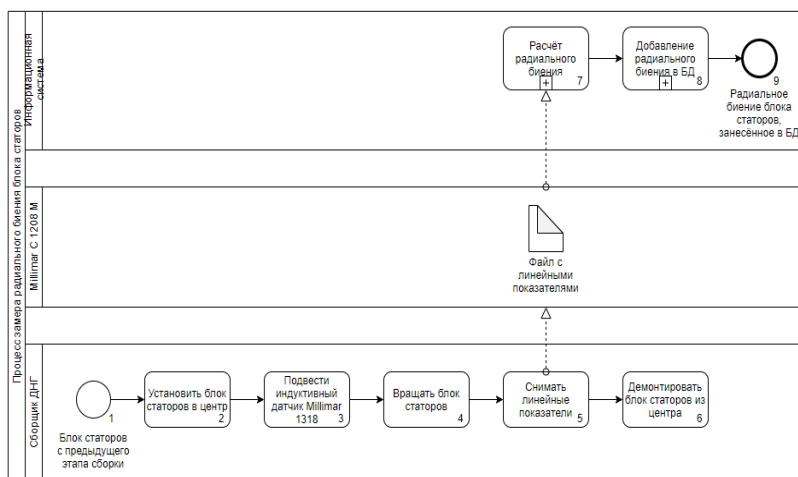


Рис. 3. Модель ТО-ВЕ разрабатываемой системы

Данная модель позволит существенно сократить время замера радиального биения блока статоров за счет автоматизации основных повторяющихся монотонных действий сборщика малогабаритного ДНГ.

¹ Для получения актуальной картины работы производства было предложено ввести на рабочих местах систему штрихкодирования, для того чтобы знать кто и с какой деталью работает в данный момент времени.

² В перспективе, данный процесс также необходимо будет автоматизировать и вращение блоку статоров придавать с помощью ДПТ, чтобы исключить возникновение возможных из-за человеческого фактора ошибок.

Библиографический список

1. О компании [Электронный ресурс]. – URL: <http://pnppk.ru> (дата обращения: 01.04.2021).

2. Millimar C 1240 M прибор показывающий малогабаритный [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mahr.de/ru/Mahr/Millimar> (дата обращения: 01.04.2021).

Сведения об авторах

Казанцев Захар Владимирович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-17-1б, г. Пермь, e-mail: zashar.kazancev99@gmail.com

Тарутин Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

С.А. Бобков, Р.А. Файзрахманов

АУДИОВИЗУАЛЬНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ ДВУХ И БОЛЕЕ ОДНОВРЕМЕННО ГОВОРЯЩИХ СПИКЕРОВ

В статье приведено сравнение показателей гибридных и сквозных типов систем аудиовизуального распознавания речи. В ходе сравнения было обнаружено, что гибридные системы показывают лучшие результаты относительно сквозных во всех рассматриваемых областях. За точку отсчёта, от которой будем отталкиваться в последующих исследованиях, была выбрана модель CE-TDNN. Также в работе предложен метод слияния аудиовизуальных модальностей, основанный на стробируемой архитектуре. По сравнению с конкатенацией операция стробирования более естественна и прямолинейна, а также имеет лучшие показатели при сравнении.

Ключевые слова: обработка естественного языка, распознавание речи, сквозные AVSR, гибридные AVSR, стробируемая архитектура слияния модальностей.

S.A. Bobkov, R.A. Fayzrakhmanov

AUDIO-VISUAL SPEECH RECOGNITION OF TWO AND MORE SIMULTANEOUS SPEAKERS

The article compares hybrid and end-to-end types of audiovisual speech recognition systems. As the result of the comparison, it was found that hybrid systems performed better than end-to-end in all areas considered. The CE-TDNN model was chosen as the «starting point» from which we will start in subsequent studies. The paper also proposes a method for merging audiovisual modalities based on a strobe architecture. Compared to concatenation, the strobe operation is more natural, straightforward and also performs better when compared.

Keywords: natural language processing, speech recognition, end-to-end AVSRs, hybrid AVSRs, strobe modality merging architecture.

Автоматическое распознавание наложенной речи (ASR) является очень сложной задачей. Наличие мешающих друг другу спикеров приводит к значительному снижению производительности систем распознавания. Большинство предшествующих исследований в этой области были сосредоточены на методах выделения речи отдельного говорящего из общей картины.

До эры глубокого обучения часто использовались подходы компьютерного анализа сцены (CASA), содержащие этапы разложения и группировки наложенной речи на основе временных и частотных сигналов. В [1] для одноканального распознавания речи многих говорящих были предложены подходы к декодированию двух говорящих на основе глубокой нейронной сети (DNN) и взвешенного конечного преобразователя (WFST). В [2] были предложены методы разделения на основе глубокой кластеризации, использующие встраивание спектрограмм. С опрой на бимодальный характер восприятия речи [3] и инвариантность визуальной информации к искажению акустического сигнала, технологии аудиовизуального распознавания речи (AVSR) [4, 5] также могут быть использованы для разделения наложенной речи [4, 6]. Единственная найденная работа в этом направлении опубликована в [7].

При разработке таких систем необходимо решить три проблемы:

1. Изучить фундаментальную архитектуру системы AVSR, как сквозную, так и гибридную.

2. Для надежной интеграции аудио- и визуальных модальностей требуется тщательное проектирование компонентов. Традиционно может использоваться простая схема слияния на основе конкатенации аудиовизуальных характеристик. Однако она обеспечивает ограниченную гибкость в слиянии, когда визуальные входы становятся более низкого качества [8].

3. Современным системам, разработанным для распознавания наложенной речи, часто требуются данные для параллельного обучения, содержащие чистую речь в обучающей выборке.

Основной вклад работы:

1. Является одной из малочисленных, если не единственной, работой по сравнению производительности гибридной и сквозной архитектур AVSR.

2. В статье описывается новый подход, использующий архитектуру стробированной нейронной сети для надежной интеграции аудио- и визуальных модальностей при распознавании наложенной речи.

1 Сравнение гибридных и сквозных AVSR. Первой задачей являлось сравнение производительности наиболее известных гибридных (CE TDNN и CTC/Attention) и сквозных (TM-CTC и TM-Sec2Sec)

AVSR на наборе данных LRS2 с использованием метрики WER для последующего выбора системы, которая будет являться точкой отсчёта в последующем исследовании и разработке.

1.1. Описание схемы эксперимента

Набор данных. Для эксперимента была сгенерирована смешанная речь двух говорящих с использованием данных из датасета Oxford-BBC Lip Reading Sentences 2 (LRS2) [9], который является одним из крупнейших общедоступных наборов данных для решения задачи чтения по губам в естественных условиях. Набор данных заранее разделен на наборы для обучения, проверки (Train-Val) и тестирования.

Моделирование данных. Наложённая речь генерируется путем выборки одного эталонного аудиовизуального высказывания из обучающего или тестового набора, а затем смешивания его звука с другими аудиосигналами.

Подготовка данных. Для входов визуальной модальности дополнительно обрезаются центральная область 144 на 144 пикселя для всех видеокадров и увеличивается дискретизация с 60 до 90 кадров в секунду с помощью линейной интерполяции.

Языковая модель. Языковая модель представляет собой 4-граммную языковую модель, полученную из транскрипций набора LRS2 Pre-train, который содержит более 2 миллионов слов.

1.2. Результаты эксперимента. Структура гибридных систем, использованных в этом эксперименте, показана на рис. 1.

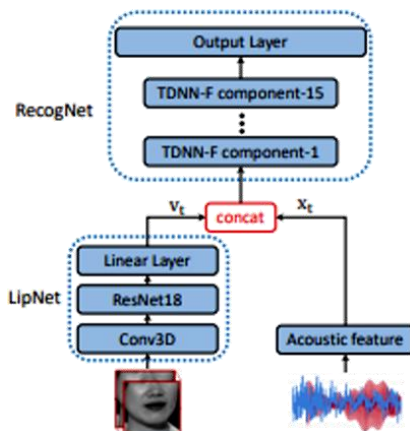


Рис. 1. Структура гибридных AVSR

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что система TDNN, обученная с помощью CE, значительно превосходит CTC/Attention и другие сквозные модели как при использовании отдельных модальностей, так и при их конкатенации в задаче распознавания. Стоит упомянуть, что система, обученная для работы только с визуальными характеристиками, обучается с использованием выравнивания на уровне аудиокadra, показатели улучшаются при подключении акустической модальности.

Результаты сравнения гибридных и сквозных AVSR

Модель	Визуал	Аудио	Аудио-визуал
TM-CTC	65,00	25,30	16,70
TM-Sec2Sec	67,80	17,50	14,40
CTC/Attention	63,53	14,30	11,06
CE-TDNN	55,02	11,17	9,95

В результате раздела становится понятно, что гибридные модели показывают лучшие результаты относительно сквозных. За точку отсчёта, используемую в последующем исследовании, была выбрана модель CE-TDNN.

2. Оптимизация слияния аудиовизуальных модальностей.

Базовая система AVSR, использующая конкатенацию функций, показана на рис. 1. Акустические характеристики объединяются с визуальными элементами, извлеченными *LipNet*, а затем объединенные элементы передаются в *RecogNet*:

$$p(y_t|x_t) = \text{RecogNet}([x_t, \text{LipNet}(v_t)]), \quad (1)$$

где y_t – выравнивание соответствующего акустического кадра x_t на уровне кадра, v_t – ROI рта целевого говорящего.

Поскольку визуальная модальность инвариантна к акустическому ухудшению, стробируемая архитектура специально разработана для выделения целевого говорящего из наложенной речи. По сравнению с конкатенацией операция стробирования более естественна и прямолинейна. Рис. 2 иллюстрирует структуру слияния, управляемого визуальной модальностью.

Сначала акустические характеристики и визуальные характеристики передаются в сети *VisualNet* и *AudioNet* соответственно. Затем

выходы *AudioNet* блокируются выходами *VisualNet* m_t с поэлементным умножением:

$$\begin{aligned} m_t &= \text{VisualNet}(V_t), \\ h_t &= \text{AudioNet}(x_t), \theta \sigma(m_t), \\ p(y_t|x_t) &= \text{RecogNet}(h_t). \end{aligned} \quad (2)$$

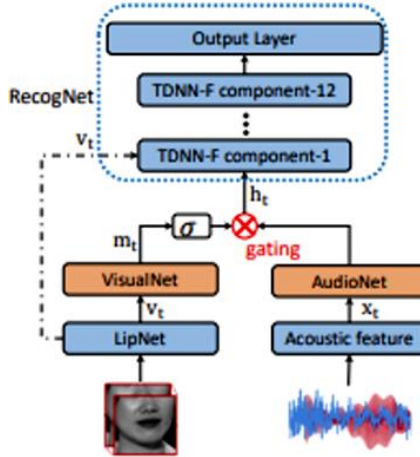


Рис. 2. Структура слияния, управляемая визуальной модальностью

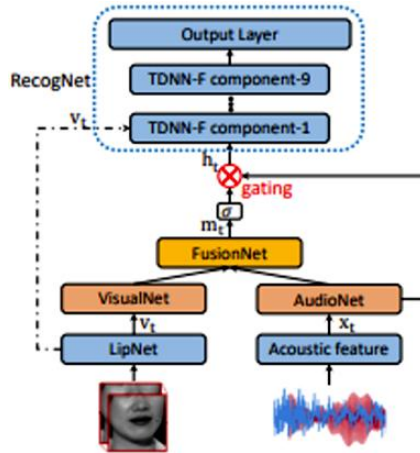


Рис. 3. Структура слияния, управляемая аудиовизуальной модальностью

Хоть визуальная модальность и инвариантна к акустическому ухудшению, с помощью неё в разы сложнее различать банальные слова или номера телефонов по сравнению со звуковой модальностью.

Таким образом, использование визуальной функции для процесса стробирования может быть не самым эффективным подходом. Для таких случаев предлагается модель, как на рис. 3.

Сеть *FusionNet* добавляется к структуре слияния, управляемого визуальной модальностью. Выходы *AudioNet* и *VisualNet* объединяются и отправляются в *FusionNet* перед использованием на этапе стробирования:

$$m_t = \text{FusionNet}([\text{VisualNet}(v_t), \text{AudioNet}(x_t)]), \quad (3)$$

где *FusionNet* – это сеть TDNN, содержащая три слоя tdnn-f. Ожидается, что *FusionNet* может использовать как искаженную звуковую, так и визуальную информацию, чтобы предоставить более эффективную информацию во время стробирования.

Библиографический список

1. Reddy A.M., Raj B. Soft mask methods for single-channel speaker separation. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. – 2007.
2. Makino S., Lee T., Sawada H. Blind speech separation. – Springer, 2007.
3. Anusuya M., Katti S.K. Speech recognition by machine, a review // arXiv: 1001.2267. – 2010. – Vol. 6, no. 3.
4. Williamson D.S., Wang Y., Wang D. Complex ratio masking for joint enhancement of magnitude and phase. ICASSP. – 2016.
5. Hirsch H.G., Gref M. On the influence of modifying magnitude and phase spectrum to enhance noisy speech signals. Interspeech. – 2017.
6. Khan F., Milner B. Speaker separation using visually-derived binary masks. AVSP. – 2013.
7. Goecke R., Potamianos G., Neti C. Noisy audio feature enhancement using audio-visual speech data. – 2002.
8. Ephrat A., Halperin T., Peleg S. Improved speech reconstruction from silent video. ICCV 2017 Workshop on Computer Vision for Audio-Visual Media. – 2017.
9. Chung J.S., Zisserman A. Lip reading in the wild. – ACCV. – 2016.

Сведения об авторах

Бобков Сергей Алексеевич – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: bobkov@greendatasoft.ru

Файзрахманов Рустам Абубакирович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com

Ю.А. Застава, А.М. Бердимуратов

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ МОДЕЛИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Рассматривается моделирование городской среды города Лысьва, рассмотрены различные программные средства для работы с трехмерной графикой, описаны методы работы в игровом движке Unreal Engine 4, рассмотрен процесс создания игровой локации, описан процесс создания игрового персонажа (character) на базе автомобиля ВАЗ-2109.

Ключевые слова: компьютерная графика, компьютерное моделирование, цифровое моделирование, скульптинг, 3dsMax, Blender, вертексы, пивоты, ретопология, полигон, меш, компьютерная сетка, 3D, фриланс, видеоигры, кино, blueprints, ПДД, городская среда, ландшафт, программирование, автотранспорт.

Yu.A. Zastava, A.M. Berdimuratov

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE AND HARDWARE MODEL OF ROAD TRAFFIC IN AN URBAN ENVIRONMENT

The article considers the modeling of the urban environment of the city of Lysva, considers various software tools for working with three-dimensional graphics, describes the methods of working in the game engine unreal engine 4, considers the process of creating a game location, describes the process of creating a game character (character) based on the VAZ-2109 car.

Keywords: computer graphics, computer modeling, digital modeling, sculpting, 3ds Max, Blender, vertexes, pivots, retopology, polygon, mesh, computer grid, 3D, freelance, video games, movies, blueprints, traffic rules, urban environment, landscape, programming, motor transport.

С ростом количества пользователей автотранспортных средств стала расти и ответственность. Как бы ни парадоксально звучало, но неподготовленный водитель, даже под присмотром инструктора, представляет не меньшую опасность для участников дорожного движения чем пьяный или агрессивный водитель.

На данный момент очень активно идет применение 3D-технологий в различных сферах жизни общества. С помощью трёхмерной графики проще передать окружающую нас обстановку, сделать какую-либо среду обитания и сделать нас их участниками. Мы можем

смоделировать городскую среду, и посмотреть на нее глазами водителя сквозь лобовое стекло автомобиля, которым и управляем [1].

Считаем, что вышеназванные обстоятельства обуславливают актуальность и значимость выбранной темы исследовательской работы.

Актуальность исследования подтверждается ещё и тем, что данная тема активно развивается и является универсальной. 3D-технологии помогают как на производстве, так и в обеспечении жизнедеятельности людей. Автосимулятор это разновидность видеоигры, разрабатываемой под заказ с определенными правилами, также могут разрабатываться и другие симуляторы, у которых применение начинается от обучения и заканчивается демонстрацией чего-либо.

Также данный проект разрабатывается с учетом городской среды города Лысьва, узнаваемость является одним из обязательных критериев данного проекта.

Объектом исследования является программно-аппаратная модель дорожного движения в городской среде.

Предметом исследования является игровой движок Unreal Engine 4 и городская среда города Лысьвы.

Целью данного исследования является проектирование и создание системы управления транспортом в городской среде.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- провести анализ предметной области исследования;
- разработать требования к проектируемой системе;
- выбрать инструментальные средства разработки;
- разработать структуру приложения;
- выполнить разработку приложения.

В данной работе использовались следующие методы: изучение и анализ научной литературы; обобщение научных взглядов, абстрагирование и синтез.

Описание объекта разработки. Объектом симуляции является городская среда города Лысьвы. В качестве локации был выбран участок размером в 1 км², который является маршрутом сдачи последнего экзамена в ГИБДД «Город». Маршрут сдачи экзамена представлен на рис. 1.

Данный маршрут пролегает от здания городского ГИБДД до центра города и является недоступной для курсантов зоной езды. Иными словами, в виртуальной обстановке у будущих водителей появляется возможность исследовать данный участок города [2].



Рис. 1. Маршрут сдачи экзамена ГИБДД

Моделирование городской среды. 3D-моделирование подразумевает создание модели [3]. В нашем случае это будут здания, улицы, транспортные средства и т.д. [4].

На рис. 2 представлен пример смоделированного участка местности.



Рис. 2. Смоделированная местность

Мы при помощи 3D-редактора сделали несколько моделей, после разместили их на поверхности, но уже в игровом движке [6]. На рис. 3 представлена модель, сделанная в 3DsMax.

Если присмотреться внимательней, то можно увидеть небольшие многоугольники. Эти самые объекты, из которых состоит модель, и есть полигоны [7].

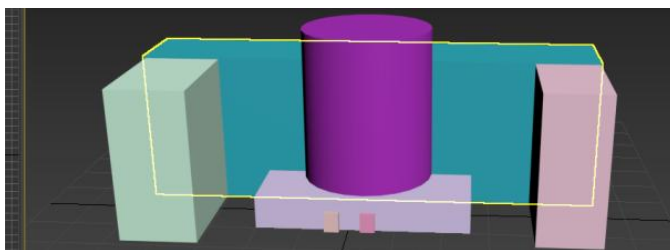


Рис. 3. Модель в 3DsMax

Несколько точек в пространстве заданы в качестве вершин и соединены ребрами, это они формируют многоугольник, т.е. полигон. Полигоны – это то, из чего состоит 3D-модель (рис. 4) [8].

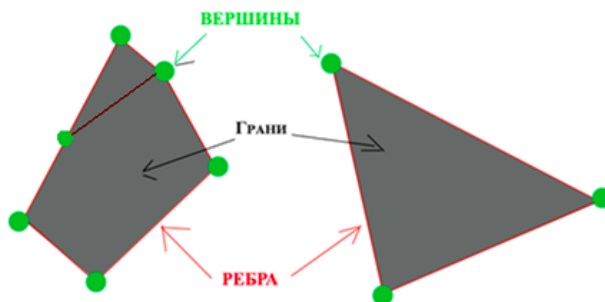


Рис. 4. Полигон

Детализация за счет полигонов представлена на рис. 5.

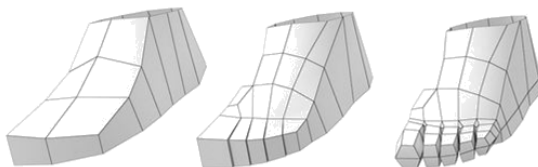


Рис. 5. Полигоны и детализация

Также в данном разделе мы рассмотрим подготовку модели перед импортированием ее в движок.

На рис. 6 представлен интерфейс программы 3DsMax и модель ВАЗ-2109. Также на рисунке видны кости объекта, составляющие объект.

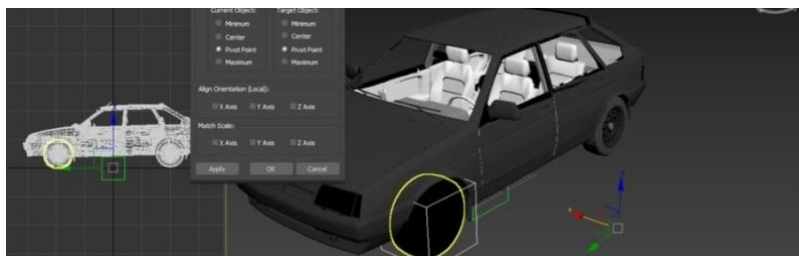


Рис. 6. Модель автомобиля ВАЗ-2109

Далее мы применили влияние на кости – при перемещении корпуса колеса тоже перемещаются, при движении вращаются колеса, корпус же только движется вперед или назад, но не вращается [8].

Среда разработки. В качестве среды разработки был выбран игровой движок Unreal Engine 4. Данная программа служит для разработки видеоигр, видеороликов, постеров, используется как САПР и т.д. Данный продукт поддерживает такие языки программирования, как C++, C#, Blueprint и др. [9].

Работа транспортного средства. Выше было сказано про 3D моделирование и подготовку моделей перед добавлением их в проект. На рис. 7 представлены основные составляющие игрового объекта.

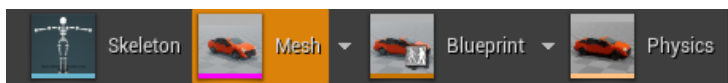


Рис. 7. Элементы объекта

Blueprint – это система визуального скриптинга Unreal Engine 4.

После добавления объекта его нужно настроить, для этого создадим blueprints для каждой из осей автомобиля передней, задней. После создадим blueprint для управления автомобилем. После подключим анимацию для движения транспорта и настроим физику [10].

Моделирование среды. Практически все объекты являются статическими и обладают той или иной коллизией, динамикой обладают тени, облака. Все объекты имеют свои материалы и текстуры [5]. На рис. 8 представлен общий вид локации.



Рис. 8. Локация

Меню. Работа приложения начинается с меню, данный раздел тоже является локацией (с точки зрения движка и терминологии) [5].

На рис. 9 и 10 представлены blueprint одной из кнопок, а также уже запущенный уровень «Меню».

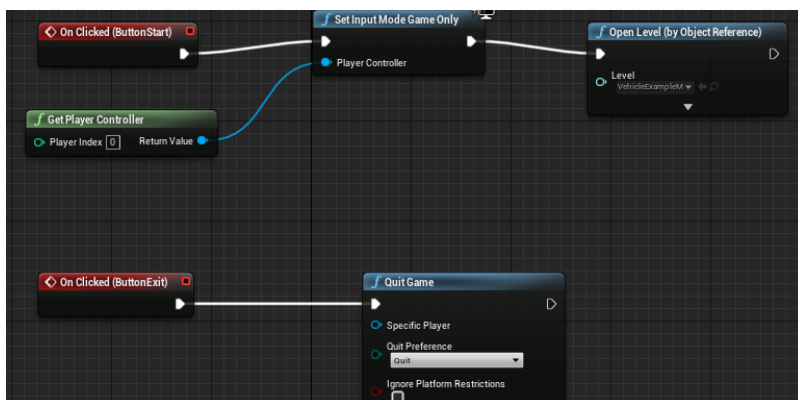


Рис. 9. Blueprint-кнопки «Начало симуляции»

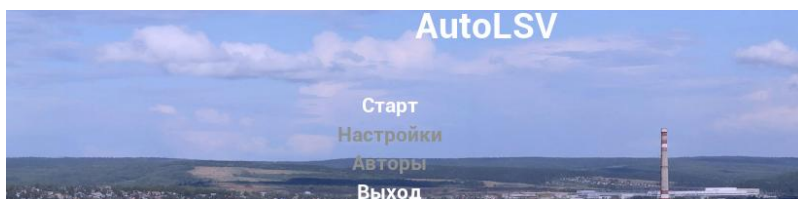


Рис. 10. Уровень Меню

После нажатия на соответствующую кнопку запускается нужный уровень.

Заключение. Технологии симуляции не стоят на месте. Движок Unreal Engine 4 позволяет сделать проекты различных видов, он является универсальным и поддерживает как все виды 3D- и 2D-проектов, так и различные устройства, начиная от клавиатуры, и заканчивая VR-технологиями.

Многие люди сейчас активно работают с данными технологиями. Есть фрилансеры. Есть целые команды разработчиков, которые работают в компаниях или организуют собственные группы для работы над какими-либо проектами. Многие продукты, библиотеки с моделями, кодами, текстурами, различными материалами становятся доступны для начинающих разработчиков.

Данный проект делался под нужды ЛФ ПНИПУ, на примере этого проекта можно сказать, что даже узкоспециализированные задачи вполне решаются на уровне учебных заведений, без привлечения третьих сторон.

Библиографический список

1. Белякова А.В., Савельев Б.В. Анализ информационных моделей тренажёров для обучения водителей транспортных средств [Электронный ресурс]. – Омск, 2019. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-informatsionnyh-modeley-trenazherov-dlya-obucheniya-voditeley-transportnyh-sredstv-obzor/viewer> (дата обращения: 07.05.2021).

2. Мухтаров М.Ш. Алгоритм работы с картой Google [Электронный ресурс]. – СПб., 2017. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-raboty-s-kartoy-google> (дата обращения: 07.05.2021).

3. Черников А.В. Внедрение современных технологий компьютерного проектирования в учебный процесс ХНАДУ [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-sovremennyh-tehnologiy-kompyuternogo-proektirovaniya-v-uchebnyy-protsess-hnadu>

4. Ткачук Г.А. Дизайн-моделирование городской среды как объекта восприятия [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dizayn-modelirovanie-gorodskoy-sredy-kak-obekta-vospriyatiya>

5. EpicGames. Unreal Engine 4 руководство пользователя. США 2004–2021 г. / пер. А. Блинцова. – URL: <https://uengine.ru/docs> (дата обращения: 07.05.2021).

6. AbdelazizLakhfif. Разработка и внедрение виртуальной 3D образовательной среды для улучшения обучения глухих. США [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2006/2006.00114.pdf> (дата обращения: 07.05.2021).

7. Беккель Л.С., Сломинская Е.Н. Анализ возможностей 3DsMax в компьютерном моделировании [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vozmozhnostey-3ds-max-v-kompyuternom-modelirovanii/viewer>

8. Черников А.В., Архипов А.В. Разработка и использование в учебном процессе видеопособий по базовым разделам компьютерной графики [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-ispolzovanie-v-uchebnom-protsesse-videoposobiy-po-bazovym-razdelam-kompyuternoy-grafiki> (дата обращения: 07.05.2021).

9. Пасько Д.Н. Современные игровые движки [Электронный ресурс]. – Нижневартовск, 2016. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-igrovyie-dvizhki/viewer> (дата обращения: 07.05.2021).

10. Плаксина И.В., Борисова Д.В. Особенности проектирования сайта с использованием методологии IDEF0 [Электронный ресурс]. – Саратов, 2019. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-sayta-s-ispolzovaniem-metodologii-idef0/viewer> (дата обращения: 07.05.2021).

Сведения об авторах

Застава Юрий Александрович – студент Лысьвенского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭВТ-17-1б, г. Лысьва, e-mail: Yuri181@yandex.ru

Бердимуратов Амангельди Мухтарович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Общенаучные дисциплины» Лысьвенского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Лысьва, e-mail: aman2460@mail.ru

Д.Н. Куций, Л.А. Марченко

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ САЙТА САЛОНА КРАСОТЫ

Рассматривается несколько этапов моделирования сайта для предприятия салонного бизнеса: определение концептуального представления системы и проектирование информационной модели данных. Приведена диаграмма прецедентов и указано ее значение в рамках процесса создания сайта. Описаны связи между сущностями ER-диаграммы и приведены атрибуты основных сущностей. Построены логическая и физическая модели данных.

Ключевые слова: диаграмма прецедентов, база данных, диаграмма «сущность–связь», логическая модель данных, физическая модель данных.

D.N. Kushchiy, L.A. Marchenko

DEVELOPING AN INFORMATION DATA MODEL BEAUTY SALON WEBSITE

In this article considers several stages of site modeling for a salon business enterprise: defining the conceptual representation of the system and designing an information data model. The use case diagram is shown and its meaning is indicated in the process of creating a site. The relationships between the entities of the ER-diagram are described and the attributes of the main entities are given. Logical and physical data models are constructed.

Keywords: use case diagram, database, entity-relationship diagram, logical data model, physical data model.

Одним из первых этапов по моделированию любого веб-сайта является анализ предметной области, направленный на определение концептуального представления системы, описывающего типичные взаимодействия между пользователями и системой. Одним из способов решения данной задачи является построение диаграммы прецедентов (рис. 1) [1].

На основе полученных сведений можно сделать вывод о том, какая информация нужна для полноценного функционирования проектируемой системы, и перейти непосредственно к поэтапной разработке информационной модели базы данных.

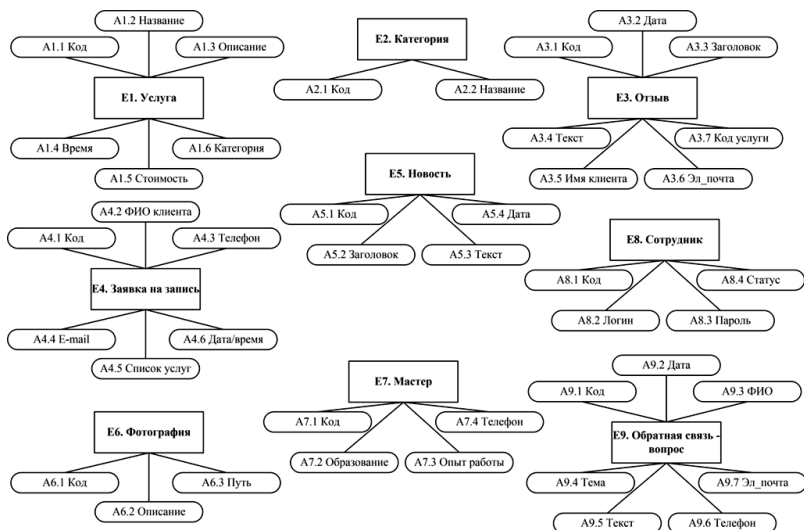


Рис. 2. Атрибуты основных сущностей концептуальной модели

В таблице приведено краткое описание связей, установленных между сущностями концептуальной модели.

Связи между сущностями концептуальной модели

Имя первой сущности	Название связи	Имя второй сущности	Тип связи
Категория	Содержит	Услуги	1 : N
Услуги	Обладает	Отзыв	1 : N
Журнал заявки	Хранит	Услуги	N : 1
Журнал заявки	Хранит	Заявка на запись	N : 1
Новость	Содержит	Иллюстрации	1 : N
Иллюстрация	Содержит	Фотография	N : 1
Галерея	Содержит	Фотография	N : 1
Галерея	Принадлежит	Мастер	N : 1
Мастер	Обладает	Сфера деятельности	1 : N
Сфера деятельности	Включает	Услуги	N : 1
Сотрудник	Формирует	Обратная связь–ответ	1 : N
Обратная связь–ответ	Хранит	Обратная связь–вопрос	1 : 1

В результате анализа полученной диаграммы «Сущность-связь» было установлено, что она отвечает требованиям нормализации, и все ее структурные элементы находятся минимум в третьей нормальной форме. Логическая модель представлена на рис. 3.

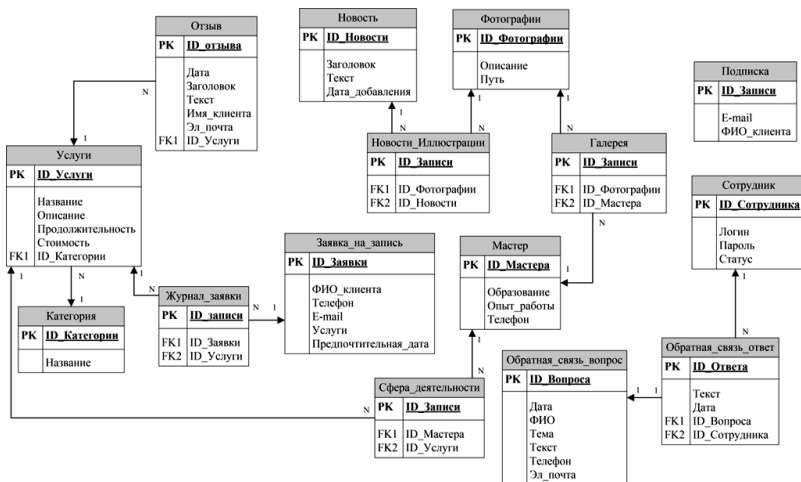


Рис. 3. Логическая модель базы данных

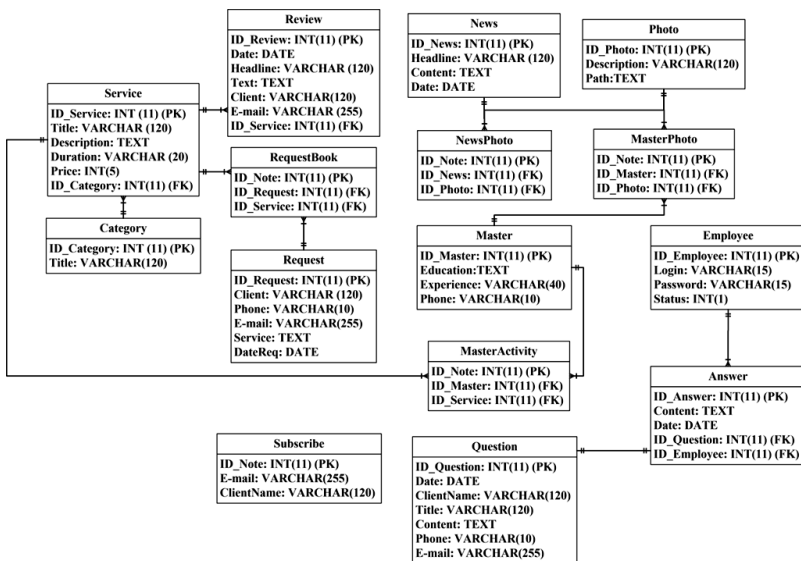


Рис. 4. Физическая модель базы данных сайта салона красоты

Результирующей формой представления предметной области становится физическая модель, которая описывает реализацию объектов логической модели на уровне объектов конкретной СУБД. Для

разработки базы данных для салона красоты была выбрана СУБД MySQL. Разработанная физическая модель представлена на рис. 4.

Работы по теме проводятся в рамках написания выпускной квалификационной работы.

Библиографический список

1. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Введение в UML от создателей языка. – 2-е изд.: пер. с англ. Н. Мухина. – М.: ДМК-Пресс, 2015. – 496 с.

2. Волк В.К. Базы данных. Проектирование, программирование, управление и администрирование: учебник. – СПб.: Лань, 2020. – 244 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126933> (дата обращения: 10.05.2021).

3. ГОСТ 34.320-96. Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Концепции и терминология для концептуальной схемы и информационной базы: дата введения 2001-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017661> (дата обращения: 14.04.2021).

Сведения об авторах

Куший Дарья Николаевна – старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, e-mail: dkushchiy@rambler.ru

Марченко Любовь Алексеевна – студент Новочеркасского политехнического колледжа, Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, гр. 090203-ПКСв-018, г. Новочеркасск, e-mail: marchenkonpk@yandex.ru

С.С. Лысов

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОБНАРУЖИТЕЛЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ И КВАДРАТУРНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

Получены и сопоставлены кривые характеристик обнаружения вещественных сигналов, которые используются в большинстве случаев, и комплексных, которые используются в квадратурных приёмниках, с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье.

Ключевые слова: сигналы, БПФ; ЦОС, обнаружитель, квадратурный приёмник, характеристики обнаружения.

S.S. Lysov

APPLICATION OF FAST FOURIER TRANSFORMATION TO BUILD A DETECTOR OF RADIO SIGNALS

In this article, the curves of the detection characteristics of real signals, which are used in most cases, and complex ones, which are used in quadrature receivers, are obtained and compared using fast Fourier transform algorithm.

Keywords: signals, FFT, DSP, detector, quadrature receiver, detection characteristics.

Появление высокопроизводительных ПЛИС с большой логической ёмкостью позволило проводить точную и быструю потоковую цифровую обработку сигналов (ЦОС) в реальном времени, в том числе и быстрое преобразование Фурье (БПФ) на достаточно большое число точек (до 512), а значит, стало возможным решать задачи обнаружения и измерения параметров сигнала с помощью частотно-временного преобразования сигнала (ЧВП сигнала) [1, 2].

Однако, как показал обзор литературы, алгоритмы построения характеристик обнаружения на основе БПФ недостаточно освещены [3, 4]. Цель исследования – получить и сравнить кривые характеристик обнаружения вещественных сигналов, которые используются в большинстве случаев, и комплексных, которые используются в квадратурных приёмниках, с помощью алгоритмов БПФ.

Исследование ведётся на математической модели. Для исследования были взяты следующие исходные данные:

- количество точек БПФ – 32, 64, 128, 256 и 512;
- прямоугольное окно БПФ;
- скользящее БПФ;
- действительный и комплексный сигналы;
- белый гауссовский шум (БГШ), математическое ожидание $M = 0$;
- вероятность ложной тревоги (далее – Рлт) на уровне 10^{-4} .

ЧВП сигнала. Проверка алгоритма формирования сигналов и БПФ производится на зашумлённых БГШ импульсных сигналах со скажностью 2, пример которого представлен на рис. 1.

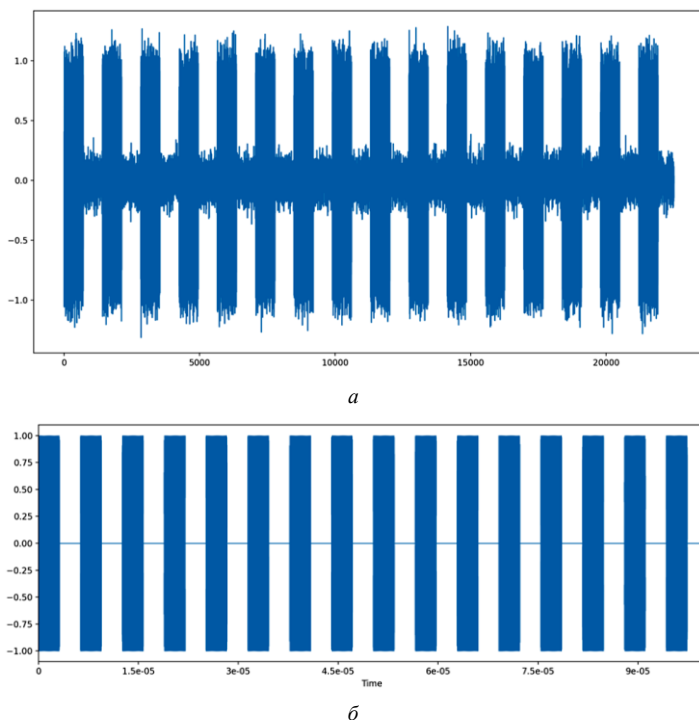
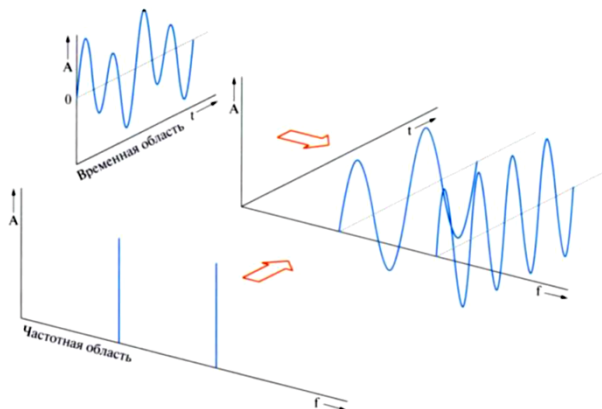


Рис. 1. Представление во временной области исследуемого сигнала: a – зашумлённого; $б$ – чистого

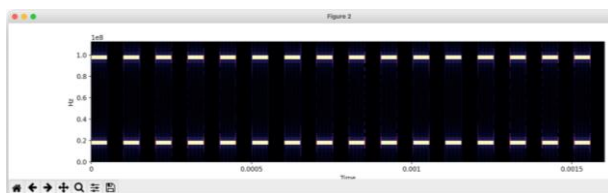
Применив ко вмененному представлению сигнала алгоритм БПФ, описанный Дж.В. Кули и Дж. Тьюки [5], можно получить ЧВП сигнала, который представляет собой двумерную матрицу. Её столб-

цы связаны со значением соответствующих частот, строки – со временем. Количество строк матрицы ЧВП равно количеству точек БПФ, а количество столбцов связано с частотой дискретизации обрабатывающего устройства (225 МГц было взято в этой работе для примера) и длительностью приёма сигнала. Визуализация этой процедуры представлена на рис. 2.

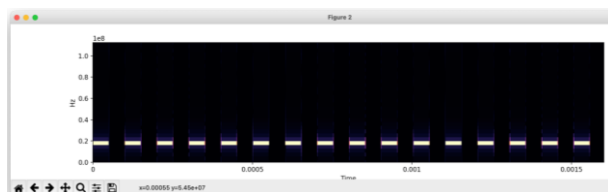


Сигналы, наблюдаемые во временной и частотной областях

Рис. 2. Визуализация процедуры ЧВП сигнала



a



б

Рис. 3. ЧВП исследуемого сигнала с рис. 2 на основе 32-точечного БПФ:

a – действительной части, *б* – всего сигнала

Данная процедура применена к чистому исследуемому сигналу с рис. 1, б, был получен ЧВП сигнала на рис. 3. Для удобства восприятия график для наблюдателя представлен перпендикулярно плоскости XOY (вид сверху).

2. Определение порога обнаружения. Следующий шаг – определение порога обнаружения при заданной $P_{ЛТ}$ для каждого количества точек БПФ. Среднеквадратическое отклонение (далее – СКО) БГШ фиксировано и равно 1. Порог обнаружения считается приемлемым в том случае, когда не более 5 % из 10^4 сэмплов по n точек превышают заданный порог (таблица).

Пороги обнаружения допустимые и используемые
в работе (в скобках)

Показатель	32 точки	64 точки	128 точек	256 точек	512 точек
Действ.	27–29 (28)	38–43 (41)	54–63 (58)	76–87 (84)	107–124 (120)
Квадр.	30–33 (31)	43–49 (47)	60–67 (65)	86–95 (93)	124–133 (130)

Построение характеристик обнаружения. Теперь для построения характеристик обнаружения действительного и комплексного сигналов в каналах после применения БПФ необходимо плавно повышать значение отношения «сигнал/шум». Для каждого значения количества точек БПФ экспериментально были установлены такие значения этого отношения, чтобы был хорошо виден переход вероятности обнаружения из 0 в 1 (рис. 4).

Для n -точечного БПФ набирается n точек исходных комплексного и действительного сигналов со случайными фазой и частотой, которые смешиваются соответственно с комплексным и действительным БГШ с фиксированным СКО.

Прогнав получившиеся значения через БПФ и сравнив значения в каждом канале с порогом, определяется количество каналов, в которых произошло превышение порога. Для достаточного набора статистики и сглаживания кривых характеристики обнаружения требуется повторить данную процедуру 10 000 раз и найти среднее значение.

Далее изменяется соотношение «сигнал/шум», цикл повторяется. Набрав достаточное количество точек, можно построить кривые характеристик обнаружения (рис. 5).



Рис. 4. Кривые характеристик обнаружения исследуемого сигнала при 32-точечном БПФ

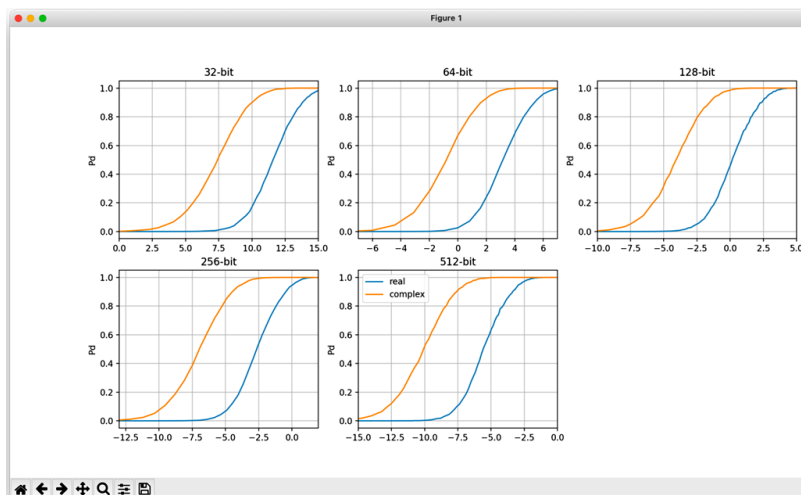


Рис. 5. Кривые характеристик обнаружения исследуемого сигнала при n -точечном БПФ

Из графиков видно, что (здесь $P_{\text{по}}$ – вероятность правильного обнаружения):

- на уровне $P_{\text{по}} = 0,9$ разница между характеристиками обнаружения вещественных и комплексных сигналов составляет 2.22, 2.30, 3.18, 4.54, 5.79 дБ соответственно;

- на уровне $P_{\text{по}} = 0,95$ разница между характеристиками обнаружения вещественных и комплексных сигналов составляет 1.55, 2.55, 3.18, 4.19, 5.79 дБ соответственно.

Библиографический список

1. Лукин А. Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы). – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 44 с.
2. Meyer-Baese U. Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Arrays. – 2nd ed. – N.Y.: pub. by Springer: Verlag Berlin Heidelberg N.Y., 2004. – 523 p.
3. Zheng E., Zhengyan L., Lingkun M. Study on harmonic detection method based on FFT and wavelet transform // IEEE 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS). – Dalian, China (2010.07.5-2010.07.7). – P. V3-413–V3-416.
4. Wang G., Wang X., Zhao C. An Iterative Hybrid Harmonics Detection Method Based on Discrete Wavelet Transform and Bartlett-Hann Window // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(11). – P. 1–16.
5. Cooley J., Tukey J. An Algorithm for the Machine Calculation Complex Fourier Series. – New Jersey: Pub. by Princeton University, 1965. – 5 p.

Сведения об авторах

Лысов Станислав Сергеевич – студент Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет), гр. КЭ-410, лаборант Научно-исследовательского института цифровых систем, г. Челябинск, e-mail: stas_13_1999q@icloud.com

В.О. Поносова, А.В. Тарутин, В.А. Щапов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ НА ПЛАТФОРМЕ SAP

Описан процесс планирования трудовых ресурсов на платформе SAP. Приведен анализ предметной области, рассмотрено сравнение существующих решений. На основе их анализа сформулированы требования к разрабатываемой системе и показано изменение бизнес-процесса в результате внедрения системы.

Ключевые слова: планирование трудовых ресурсов, консалтинговая компания, проект, бизнес-процесс, SAP.

V.O. Ponosova, A.V. Tarutin, V.A. Shchapov

RESEARCH OF THE WORKFORCE PLANNING PROCESS ON THE SAP PLATFORM

In this article describes the process of workforce planning on the SAP platform. The analysis of the subject area is given, the comparison of existing solutions is considered. Based on their analysis, the requirements for the developed system are formulated and the change in the business process as a result of the implementation of the system is shown.

Keywords: workforce planning, consulting company, project, business process, SAP.

Эффективная экономическая деятельность консалтинговой компании становится возможной только при разработке планов развития [1]. Планирование создает важные преимущества:

- проясняет проблемные места;
- улучшает координацию действий в подразделениях компании;
- способствует рациональному распределению ресурсов;
- улучшает контроль в компании.

Планирование трудовых ресурсов является одной из главных составляющих плана компании.

Разрабатываемая система является внутренним проектом консалтинговой компании ООО «Сапран Консалтинг» – интегратором SAP,

для которой эффективная деятельность зависит от правильного распределения человеческих ресурсов [2]. Система должна быть построена на платформе SAP и обеспечивать анализ фактических данных.

Анализ существующих систем планирования. Проведем сравнительный анализ существующих решений для планирования человеческих ресурсов с учетом предъявляемых компаниями требований. Рассмотрим основные возможности наиболее популярных из этих программных продуктов:

1. MS Project – это система для управления проектами, а также один из способов оптимизации, который позволяет осуществлять планирование и контроль проектной деятельности внутри организации [3, 4]. Главная цель MS Project – помощь руководителям и менеджерам проектов в распределении человеческих ресурсов, а также отслеживании текущего статуса проекта. Система предоставляет возможность разработки критического пути. Задачам можно назначать трудовые ресурсы, но управление проектом может осуществлять только менеджер или руководитель проекта. Эта система не предусматривает возможности работы в команде.

2. Trello – популярная онлайн-система управления проектным временем, которая используется в большинстве случаев небольшими компаниями [3]. Она известна простым интерфейсом перетаскивания: с помощью простых манипуляций можно перемещать карточки с заданиями из одной темы в другую, а также назначать ее членам команды и устанавливать срок выполнения. Главным недостатком Trello является отсутствие управления бюджетом проекта.

3. Jira – одна из систем планирования проектами, хотя изначально Jira рассматривалась в качестве инструмента отслеживания недоработок и ошибок, проявляющихся в ходе разработки [3]. В данной статье рассматриваются возможности Jira как системы планирования ресурсов. В режиме планирования показаны истории пользователя, созданные в рамках действующего проекта. Также, как и в системах, рассмотренных выше, в Jira можно назначать задачи исполнителям, просматривать прогресс выполнения задачи с помощью диаграммы «сгорания задач», но нельзя управлять сроками выполнения проекта.

В таблице проведено сравнение описанных решений.

Сравнительный анализ аналогов разрабатываемой системы

Элемент сравнения	MS Project	Trello	Jira
На кого ориентирован	На руководителей и менеджеров проекта. Планирование позволяет учесть работы проектной группы и время выполнения проекта	На членов команды, в нем они могут совместно участвовать в управлении проектами и персональными задачами	На членов команды. В ней они могут планировать, отслеживать и создавать отчеты
Интерфейс	Интуитивно-понятный	Понятный и наглядный	Старомодный, необходимо приспособиться к доступным возможностям
Управление сроками выполнения	+	+	–
Диаграмма Ганта	+	–	+
Бюджет проекта	+	–	+
Совместная работа не только внутри команды, но и с людьми со стороны заказчика	–	+	–
Анализ исторических (фактических) данных	–	–	–

MS Project, Trello и Jira созданы как системы для оперативного планирования, что не предоставляет возможности обеспечивать анализ исторических данных – одно из требований компании к разрабатываемой информационной системе, т.е. ни одно из рассмотренных решений нам не подходит.

С учетом требований компании к разработке и анализа существующих решений, были сформулированы требования к системе.

Разработка требований к системе планирования. Требования к информационной системе:

1. Должна строиться на основе хранилища данных платформы SAP.
2. Должна предоставлять возможность хранения исторических данные, а также должен быть доступен анализ исторических данных.
3. Должна предоставлять возможность просмотра и редактирования информации о проекте и сотруднике.
4. Должны рассчитываться показатели:
 - дни на проекте;
 - дни по таблице;

- дни по ПН;
- выручка без НДС;
- выручка с НДС;
- прямые затраты;
- проектные затраты;
- валовая рентабельность;
- рентабельность.

5. Должны строиться отчетные формы по проектам и сотрудникам в разрезе месяца для отслеживания текущего статуса проекта в департаменте.

Бизнес-процесс «Планирование трудовых ресурсов». Оптимизируем существующий бизнес-процесс, применив требования к разрабатываемой системе. Рассмотрим оптимизированный бизнес-процесс планирования человеческих ресурсов в разрезе департамента.

Бизнес-процесс является регулярным и осуществляется ежемесячно. В нем все действия проходят через систему планирования, а результирующие данные записываются в хранилище данных. Благодаря системе планирования, увеличивается удобство планирования, что позволяет более рационально распределять человеческие ресурсы по проектам. Бизнес-процесс предпринимается в связи с ежемесячной необходимостью формирования плана расходов и доходов департамента.

Бизнес-процесс представлен на рис. 1. Декомпозиция бизнес-процесса представлена на рис. 2.

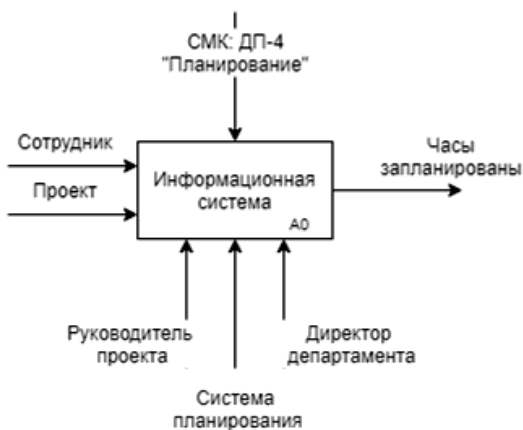


Рис. 1. Бизнес-процесс «Планирование трудовых ресурсов в разрезе департамента»

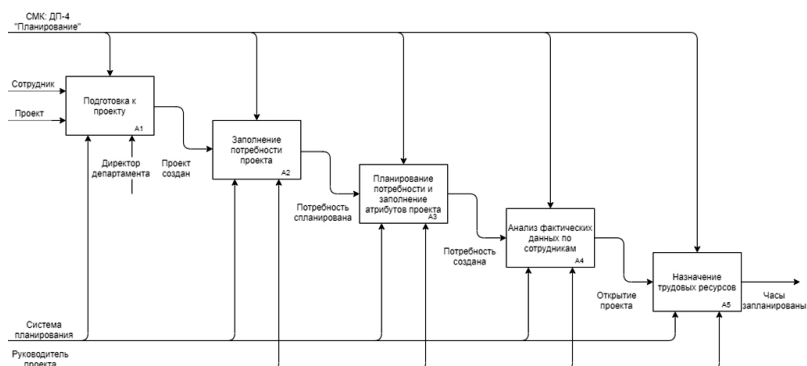


Рис. 2. Декомпозиция бизнес-процесса «Планирование трудовых ресурсов в разрезе департамента»

Таким образом, был проведен анализ существующих решений для планирования трудовых ресурсов, а также сформулированы основные требования к разрабатываемой информационной системе. На основе выдвинутых требований был оптимизирован бизнес-процесс планирования человеческих ресурсов в разрезе департамента.

Проектируемая система планирования позволила переработать бизнес-процесс, в результате в нем удалось сократить количество процессов, а также разгрузить работу директора департамента для принятия управленческих решений.

Библиографический список

1. Консалтинговая компания – что это такое? [Электронный ресурс]. – URL: <https://dvayarda.ru/business/konsaltingovaya-kompaniya> (дата обращения: 08.03.2021).
2. О компании [Электронный ресурс] // Сайт компании «Сапран Консалтинг». – URL: <https://www.saprun.com/about> (дата обращения: 01.04.2021).
3. Сравнить программы Адванта, Jira, Microsoft Project Cloud и Trello [Электронный ресурс]. – URL: <https://a2is.ru/catalog/upravlenie-proektami/compare/trello/advanta/jira/microsoft-project-cloud> (дата обращения: 01.03.2021).

4. MS Project: обзор возможностей для эффективного планирования [Электронный ресурс]. – URL: <https://blog.ganttpro.com/ru/obzor-ms-microsoft-project/> (дата обращения: 04.03.2021).

Сведения об авторах

Поносова Виктория Олеговна – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-17-16, г. Пермь, e-mail: ponosovavo@gmail.com

Тарутин Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

Щапов Владислав Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: phprus@gmail.com

А.С. Чернышев, В.А. Шапов, А.В. Тарутин

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрен способ автоматизации работы сотрудников отдела кадров с документами. Описаны бизнес-процессы работы сотрудников отдела кадров с системами электронного документооборота. Описаны преимущества, которые можно получить после внедрения системы электронного документооборота.

Ключевые слова: автоматизация, электронный документооборот, модель, системы электронного документооборота.

A.S. Chernyshev, V.A. Shchapov, A.V. Tarutin

DEVELOPMENT OF THE INTERNAL DOCUMENT CIRCULATION SYSTEM OF THE ENTERPRISE

This article discusses a way to automate the work of HR department employees with documents. The business processes of HR department employees working with electronic document management systems are described. The advantages that can be obtained after the introduction of an electronic document management system are described.

Keywords: automation, electronic document management, model, electronic document management systems.

Компания «НОЦ ГиРНГМ ПНИПУ» занимается выполнением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области разработки, добычи и подготовки нефти и газа [1].

Как и на любом крупном предприятии, штат сотрудников довольно большой и постоянно пополняется. В связи с этим работа отдела кадров и управленцев не обходится без большого количества документов и их движения внутри предприятия.

Сейчас в компании все документы ведутся вручную, т.е. нет никакой организованной структуры по хранению и передаче документов между ответственными лицами. В связи с этим есть необходимость оптимизации работы с документами, что может оказать существенное влияние на повышение эффективности компании и дисциплины сотрудников.

Опишем подробнее, что на данный момент делает специалист отдела кадров для обработки того или иного документа:

1. Ищет/создаёт на ПК нужный документ по требуемому шаблону;
2. Заполняет/редактирует данный шаблон.
3. Сохраняет и хранит файл на ПК.

Данный процесс лучше описать в виде модели «как есть» (AS-IS) с помощью нотации BPMN 2.0, представленной на рис. 1.

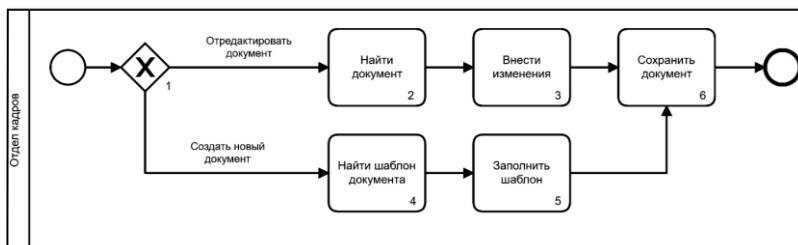


Рис. 1. Модель AS-IS [2]

Описание блоков модели: 1 – выбор действия; 2 – поиск нужного документа на ПК; 3 – редактирование документа; 4 – выбор необходимого шаблона документа; 5 – заполнение шаблона; 6 – сохранение файла на ПК. Такая модель требует больших трудозатрат в плане поиска документа и шаблона. Помимо этого, нужно упорядоченно хранить каждую версию документа. Для решения данной проблемы можно создать систему электронного документооборота (СЭД).

В настоящее время многие компании, для того чтобы не разрабатывать или не делать на заказ свою СЭД, пользуются решениями «из коробки», т.е. теми системами, которые подойдут для любой организации. В таблице представлены наиболее популярные системы СЭД на декабрь 2020 г. [3].

Популярные системы СЭД

Название	Количество реализованных проектов
Directum	842
DocsVision	553
Дело	493
Тезис	374
1С: Документооборот	371

Рассмотренные выше системы обладают большим функционалом и универсальностью. Однако это является как плюсом, так и ми-

нусом, ведь зачастую сотрудникам требуется много времени, чтобы пройти обучения для работы в данной системе. Помимо этого, любая неполадка заставит обращаться в службу поддержки для её устранения, а это занимает какое-то время.

Внедрение своей внутренней системы позволит решить данную проблему. Любой сотрудник быстро пройдёт обучение и будет пользоваться только нужными и понятными разделами. А руководители и разработчики смогут легко контролировать процесс потока данных и осуществлять своевременную поддержку и доработку системы.

Для общего понимания концепции разрабатываемой системы, нужно построить функциональные модели. Такие модели позволяют выявить наиболее слабые и уязвимые места деятельности компании, а также проанализировать преимущества новых бизнес-процессов и степень изменения структуры организации. Устранение недостатков приводит к созданию модели «как должно быть» (TO-BE), представленной на рис. 2 в нотации IDEF0.

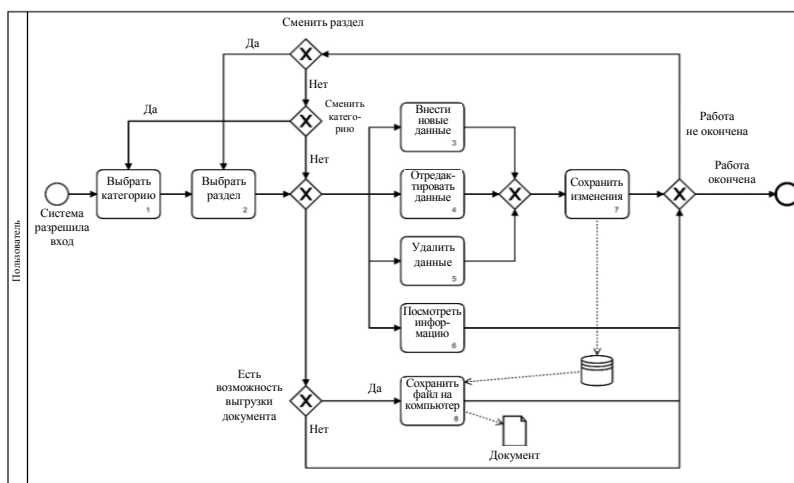


Рис. 2. Модель TO-BE

Описание блоков модели: 1 – выбор категории; 2 – выбор раздела; 3 – ввод данных (например, о сотруднике); 4 – редактирование данных; 5 – удаление данных; 6 – просмотр информации по разделу; 7 – сохранение изменений (внесение данных в БД); 8 – экспорт файла на ПК (Excel, Word).

Таким образом, данная система позволит хранить данные централизованно и структурированно. Любой пользователь с определёнными правами сможет просматривать информацию, вносить изменения и сохранять экземпляр нужного документа на ПК для дальнейшей распечатки и подписания. Помимо этого, каждый сотрудник сможет зайти в систему и увидеть информацию по заработной плате, отпуске, табелям и др. Внедрение СЭД позволит получить следующие положительные эффекты:

- экономия времени за счет сокращения поиска необходимого документа, исключение риска его порчи или потери и т.д.,
- оптимизация офисного пространства (можно сократить площадь, отведённую под бумажный архив),
- повышение прозрачности внутренней работы организации (руководство будет контролировать время согласования, статус и дату исполнения любого документа),
- минимизация расходов на распечатку документов.

Библиографический список

1. Сайт ПНИПУ. – URL: <https://pstu.ru/activity/innovation/tskp/iljushin> (дата обращения 14.03.2021).
2. Кулябов Д.С., Королькова А.В. Введение в формальные методы описания бизнес-процессов: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 173 с.
3. Рейтинг систем ЭДО. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Самые_популярные_СЭД/ECM-системы (дата обращения 14.03.2021).

Сведения об авторах

Чернышев Алексей Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-17-1б, г. Пермь, e-mail: pingwin59@mail.ru

Щапов Владислав Алексеевич – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: phprus@gmail.com

Тарутин Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

Н.И. Попов, А.В. Тарутин, В.А. Щапов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ И ПОИСКА МЕРОПРИЯТИЙ

Проведён анализ существующих систем, рассмотрены процессы организации и поиска мероприятий, а также предложено решение.

Ключевые слова: информационные технологии, информационная система мероприятия, организация мероприятий.

N.I. Popov, A.V. Tarutin, V.A. Shchapov

RESEARCH OF PROCESSES OF ORGANIZATION AND SEARCHING FOR EVENTS

An analysis of existing systems will be carried out, the processes of organizing and searching for events will be considered, and a solution will be proposed.

Keywords: information technology, information system of the event, organization of events.

На данный момент люди ищут информацию о различных мероприятиях при помощи информационных технологий, различных сервисов, доступных в сети интернет, например, социальные сети, сайты по продаже билетов, рекламные и другие источники.

Недостатками данных инструментов является то, что они не имеют полной информации о каких-либо событиях, а также присутствует проблема, связанная с централизацией информации.

Организаторы мероприятий, в свою очередь, вынуждены тратить больше человеческих и прочих ресурсов, чтобы другие люди узнали об этом событии, по причине использования различных не централизованных источников и баз данных, с разной аудиторией.

Для решения этих проблем – необходимо рассмотреть процесс организации мероприятия с точки зрения организатора, контекстная диаграмма процесса представлена на рис. 1.

Непосредственно перед проведением мероприятия организатор проводит первичное планирование и привлечение посетителей с последующей подготовкой [1, 2].



Рис. 1. Контекстная диаграмма описания процесса организации мероприятия

На каждое действие затрачиваются ресурсы, а также, как правило, нанимаются маркетологи для привлечения посетителей, от которых зависит успех распространения информации в различных рекламных издательствах, социальных сетях и других источниках информации. Главным недостатком является необходимость наличия отдельного человека, который будет повторно распространять информацию в различных информационных системах.

Теперь стоит рассмотреть процесс поиска с точки зрения посетителя, диаграмма которого на рис. 2.



Рис. 2. Контекстная диаграмма описания процесса поиска мероприятия

Основными критериями при поиске и выборе времяпрепровождения являются индивидуальные запросы и предпочтения пользователя. Главным недостатком является то, что на выбор пользователя влияют совершенно различные источники информации, которые могут иметь повторяющуюся, отсутствующую, неполную, искаженную или противоречащую другим источникам информацию. Несомненно, из-за данных проблем будет потрачено больше человеко-часов на поиск.

На данный момент существует огромное множество сервисов, которые позволяют эффективно и качественно организовать сам процесс подготовки и организации, например Trello, JIRA и любые подобные системы, но если рассмотреть системы, благодаря которым можно продвигать различные события и взаимодействовать с аудиториями, то можно заметить, что их не так много, а готовых коробочных решений нет.

Распространенными информационными системами являются «Яндекс.Афиша», «Касса.ру» и «Афиша», которые по-своему автоматизируют процессы, но при этом имеют недостатки.

Все сервисы предоставляют услугу размещения своих мероприятий и информацию о них, но при этом основным направлением является продажа билетов, а не распространение информации.

Большинство размещений в данных сервисах посвящены крупным площадкам и событиям, а информации о различных культурных, научных или других, не совсем массовых, мероприятиях нет. Также в основном функционируют процессы формата B2C, а вид C2C или G2C отсутствует, что говорит о том, что данные платформы не решают проблему централизации данных.

Еще одним ограничением является то, что категорий достаточно немного и отсутствует возможность их расширения. Также ни одна из систем не предоставляет функцию общения внутри системы, из-за чего люди используют несколько источников информации одновременно, теряя время.

Сравнение основных существующих решений представлено в таблице.

Сравнение существующих систем

Недостатки	Яндекс.Афиша	Кассы.ру	Афиша
Средства связи внутри системы	Нет	Нет	Нет
Аккаунт для сохранения событий	Есть возможность добавления в избранное	Нет	Есть возможность добавления в избранное и в календарь
Возможность создания мероприятий (С2С)	Нет, только продажа билетов	Нет, только продажа билетов после посещения офиса продаж	Есть, но в сервисе отображаются только платные мероприятия
Актуальная централизованная информация (сравнение основано на выборке информации о фильмах и культурных выставках)	Нет	Нет	Нет
Количество тематик, характеризующих событие	11	8	6

Также стоит упомянуть функции, представленные в социальных сетях «ВКонтакте» и «Facebook», которые также содержат похожие недостатки, но и обязуют пользователя иметь аккаунт для доступа к функциям.

В современном мире у каждого человека есть множество аккаунтов в различных информационных системах, из-за этого у пользователей достаточно много информации, которую они не хотят видеть, как спам, например. Именно поэтому обязательная регистрация будет отталкивать многих людей от использования данного решения, что, в свою очередь, невыгодно организаторам, так как аудитория информационной системы гораздо меньше.

С учетом недостатков существующих систем выдвигается концепция информационной системы, которая поможет снизить затраты ресурсов за счет автоматизации.

Пользователь может взаимодействовать с информационной системой мероприятий при помощи трех ролей:

- «незарегистрированный пользователь»;
- «посетитель»;
- «организатор».

Любой «незарегистрированный пользователь» может создать аккаунт, а также стать организатором после прохождения дополнительной регистрации.

Роль «незарегистрированный пользователь» обладает возможностями: просмотр списка существующих событий и подробной информации о событиях, поиск событий с указанием необходимых параметров.

«Посетитель» также имеет доступ к функциям, что и у «незарегистрированного пользователя» и при этом может отправлять заявки в друзья, подтверждать входящие заявки в друзья, удалять из друзей, просматривать список друзей, искать других людей и организаторов в системе, просматривать входящие и отправленные заявки в друзья, отправлять и удалять личные сообщения в чате, создавать и редактировать беседы, получать данные о личных переписках и беседах и их сообщения, в которых состоит пользователь, просматривать активность других пользователей, отмечать или отзываться статус о желании пойти на мероприятие, подписаться или отписаться от организатора.

«Организатор» имеет доступ к функциям, что и у «посетителя», но и возможности: изменять данные аккаунта, связанные с информацией об организаторе, создавать, изменять и удалять мероприятия, просматривать количество людей, которые пойдут на мероприятие, просматривать подписчиков, список созданных мероприятий.

Для обеспечения актуальности и контроля данных необходима роль администратора, которая недоступна обычным пользователем.

Роль администратора будет иметь следующие функции: добавление, изменение, удаление данных в справочниках тематик и адресов, блокировка и разблокировка пользователей (с указанием причины), публикация, отмена публикации и удаление мероприятия после проверки.

В будущем можно автоматизировать процесс проверки данных пользователей, организаторов и мероприятий путем применения технологий машинного обучения для обработки текста.

В данной работе были продемонстрированы недостатки существующих информационных систем, проанализированы процессы и выдвинута концепция системы, которая может оптимизировать использование ресурсов.

Библиографический список

1. Методология ideo. – URL: <https://itteach.ru/bpwin/metodologiya-ideo> (дата обращения: 29.03.2021).
2. Потапов И.В. Функциональное моделирование на базе стандарта IDEF0: метод. указания / сост. Д.Ю. Киселев, Ю.В. Киселев, А.В. Вавилин. – Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 20 с.

Сведения об авторах

Попов Никита Ильич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-17-1б, г. Пермь, e-mail: ni_porov@mail.ru

Тарутин Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

Щапов Владислав Алексеевич – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: phprus@gmail.com

Н.Х. Мустафазаде

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
МОНИТОРИНГА, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДА БАКУ**

Для получения информации о состоянии приземного слоя атмосферы в пределах города Баку в Национальном аэрокосмическом агентстве разработан программный комплекс для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения. Комплекс позволяет сохранение данных мониторинга в базе данных, расчет модели и прогноза загрязнения, а также вывод электронной карты. Комплекс состоит из нескольких модулей и имеет средства для их гибкой настройки.

Ключевые слова: мониторинг, атмосферное загрязнение, модель, прогноз, электронное картографирование.

N.H. Mustafazade

**SOFTWARE COMPLEX FOR CONDUCTING
MONITORING, MODELLING AND PREDICTION
OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN THE TANK CITY**

In order to obtain information on the state of the ground-level atmosphere within the city of Baku, the National Aerospace Agency has developed a software system for monitoring, modelling and forecasting atmospheric pollution. The complex makes it possible to keep monitoring data in a database, to calculate a pollution model and forecast, and to produce an electronic map. The complex consists of several modules and has means for their flexible adjustment.

Keywords: monitoring, atmospheric pollution, model, forecast, electronic mapping.

Контроль и моделирование состояния атмосферы мегаполисов является важнейшей прикладной задачей экологического мониторинга. При интенсивной урбанизации и росте мегаполисов автотранспорт, и системы обогрева зданий становятся самыми значимыми угрожающими факторами для охраны здоровья человека и природной городской среды [1]. Летучие органические соединения способствуют созданию в приземном слое озона, представляющего опасность для флоры [2]. Процессы горения вызывают создание двух других распространенных загрязнителей – диоксида серы и оксидов азота

[3]. Загрязненность атмосферы вышеуказанными веществами вызывает озабоченность не только на национальном, но и на мировом уровне [4].

В качестве исходных материалов были использованы данные мониторинга атмосферного загрязнения, который проводился в течение 2013 г. в 11 различных участках города Баку. Для мониторинга были выбраны наиболее репрезентативные точки города: в местах интенсивного движения автотранспорта, спальных районах, наиболее продуваемых местах, нагорных и низинных частях города, а также на берегу моря, вблизи Бакинской бухты. Мониторинг проводился с помощью машины-лаборатории, оборудованной приборами для измерения концентраций 14 различных загрязнителей атмосферы, таких как азот-диоксид, угарный газ, фурфурол, пыль, другие газы [5]. Для уменьшения затрат и времени на проведение мониторинга была разработана специальная программа выбора оптимального маршрута для объезда всех пунктов наблюдений.

Во время исследования применялись методы компьютерного моделирования и картографирования, а также метод группового учета аргументов (МГУА). Выбранный метод позволяет получить математическую модель, отражающую зависимость концентрации указанного загрязнителя атмосферы от нескольких метеорологических параметров, таких как температура, влажность, давление и др. Корреляция загрязнения и данных факторов известна давно, что позволяет использовать статистический тип модели [6]. Модель по методу МГУА представляется в форме полинома, члены которого являются произведениями значений различных метеофакторов, взятых в различных степенях, и с соответствующими коэффициентами. Сложность полинома определяется требованиями заданной точности. Модель вычисляется за несколько итераций, и с каждой итерацией возрастают как точность модели, так и время вычисления, а также сложность полинома. Проведенные испытания показали, что погрешность моделирования уже после нескольких итераций составляла не более 5 %, а прогнозирования – 15 %. По полученной модели для различных наборов метеоданных рассчитывались прогнозы, которые впоследствии сравнивались с данными мониторинга. Для графического представления данных был разработан программный модуль построения трехслойной электронной карты со слоями карты области

мониторинга, меток пунктов наблюдений и распределения загрязнения в рассматриваемой области.

Разработанный программный комплекс имеет возможность выбора среди режимов определения качества воздуха, вывода данных мониторинга и прогноза, состоит из модулей качества воздуха, моделирования и прогнозирования и построения электронной карты. Отдельные модули имеют нижеперечисленные особенности.

Модуль моделирования и прогнозирования:

- выбор отдельных метеорологических факторов в качестве аргументов модели;
- выбор отдельных пунктов наблюдений;
- выбор интервала времени наблюдений;
- задание допустимой погрешности моделирования.

Модуль качества воздуха:

- выбор отдельных загрязнителей;
- выбор шаблона расчета качества.

Модуль электронной карты:

- вывод качества воздуха;
- вывод данных мониторинга;
- вывод прогноза загрязнения.

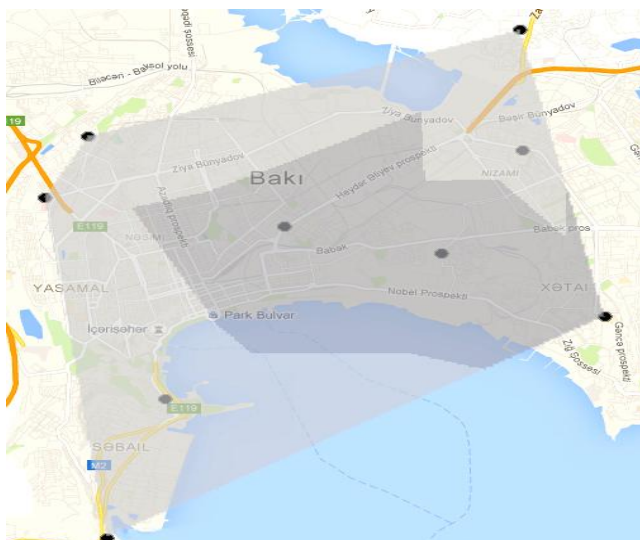


Рис. Карта уровней загрязнения атмосферы г. Баку

Разработанный программный комплекс имеет графический интерфейс пользователя, обеспечивающий удобную работу со всеми тремя модулями. В качестве примера на рисунке приводится вид модуля электронной карты в режиме вывода данных мониторинга качества воздуха г. Баку.

На карте светло-серым цветом показаны районы города с низким уровнем загрязнения воздуха, а темно-серым – с повышенным. Таким образом, почти весь центр города, во всяком случае его низинная часть, имеет повышенный уровень загрязнения воздуха [7].

Представленный программный комплекс полностью разработан в среде программирования MatLab, использует методы наборов инструментов Image Processing Toolbox, Symbolic Toolbox и Mapping Toolbox.

Программа обладает набором функций для проведения операций получения, обработки и представления данных мониторинга атмосферного загрязнения, его моделирования и прогнозирования. Также программа имеет графический интерфейс, позволяющий выбрать режим работы, создать запрос для получения выборки из базы данных и вывести результаты в виде электронной карты.

Библиографический список

1. Применение информационных технологий для решения задач экологического мониторинга загрязнения атмосферы мегаполисов / С.М. Дзюба, Н.В. Белянина, М.Н. Прокопенко, С.А. Серовиков // Вестник НТУ ХПИ. Тематический выпуск. Информатика и моделирование. – 2010. – № 21. – С. 58–65.
2. Daniel Vallero. Fundamentals Of Air Pollution. Fifth Edition. – Elsevier Inc., 2014. – 986 p.
3. Zhongchao Tan. Air Pollution and Greenhouse Gases. From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control. – Springer Science + Business Media. Singapore. – 2014. – 481 p.
4. Peirce J.J., Vesilind P.A., Weiner R.F. Environmental Pollution and Control, 4th ed. – Elsevier Science & Technology Books, 1997. – 392 p.
5. Автоматизация моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения / Т.И. Сулейманов, Н.Х. Мустафазаде, Р.К. Гулузаде, М.М. Гаджиев, Л.В. Иванова // Automation of technological and business-processes. – 2019. – Vol. 11, no. 1. – P. 47–52.

6. Effects of Weather Conditions and Differential Air Pressure on Indoor Air Quality / M. Raatikainen, J-P. Skön, M. Johansson, K. Leiviskä, M. Kolehmainen // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2012. – № 61. – P. 2093–2099.

7. Мустафазаде Н.Х. Построение карты качества атмосферного воздуха города Баку // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. – 2020. – Т. 6 (72), № 2. – С. 318–325.

Сведения об авторе

Мустафазаде Наира Хансувар кызы – ученый секретарь Института Космических исследований природных ресурсов (ИКИПР), аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: nm_609@mail.ru

И.Н. Рыболовлев, В.А. Трусов

ОБЗОР ИНСТРУМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ КРИТИЧНОСТИ

Исследуются различные инструменты, применяемые для определения уровня критичности в различных предметных областях. Изучены алгоритмы определения уровня критичности информационных объектов в АСУ ТП, определения уровня критичности информационных объектов в АСОИУ определения критически важных объектов газотранспортной системы, определения критичности состояния масляного выключателя, определения уровня критичности полномочия. Проведен сравнительный анализ.

Ключевые слова: модель, алгоритм, подход, определение уровня критичности, информационный объект, объект техники.

I.N. Rybolovlev, V.A. Trusov

OVERVIEW OF THE TOOLS USED TO DETERMINE THE CRITICALITY LEVEL

This article explores the various tools used to determine the level of criticality in different subject areas. Algorithms for determining the level of criticality of information objects in the automated process control system, determining the level of criticality of information objects in highthe automated control system, determining the critical objects of the gas transmission system, determining the criticality of the state of the oil circuit breaker, determining the level of criticality of the authority have been studied. A comparative analysis has been carried out.

Keywords: model, algorithm, an approach, determination of the level of criticality, information object, object of technology.

Сегодня не найдется страны, которая не инвестирует в НИОКР, но даже самые богатые страны не могут позволить себе инвестировать в исследования и разработки на современном уровне во все сферы науки и техники. В связи с этим возникает необходимость определения приоритетных направлений, объектов техники (технологий), которым необходимо оказать поддержку в первую очередь. Поэтому важнейшей задачей стала разработка инструментов определения научно-технологических приоритетов, а также механизмов их реализации. Решением данной задачи стали перечни критических технологий.

Суть метода критических технологий – выявление приоритетов научно-технологического развития на ближайшие 3–10 лет. Данный подход применим на всех уровнях от локальных организаций до государственных корпораций и стран. Результатом применения данного подхода являются перечни технологий либо направлений исследований и разработок, которые требуют первоочередного внимания.

Целью данной статьи является рассмотрение существующих подходов, методов определения уровня критичности с точки зрения их пригодности для определения уровня критичности объектов техники ТЭК и формирование перечней критичных технологий в дальнейшем.

В статье [1] коллектив авторов приводит подход определения требований к защите информации в АСУ ТП основанный на уровне критичности (значимости) информации. Для определения критичности (значимости) информации применяется метод экспертной оценки с использованием механизма нечеткого логического вывода.

Процедура нечеткого логического вывода имеет следующий вид (рис. 1).

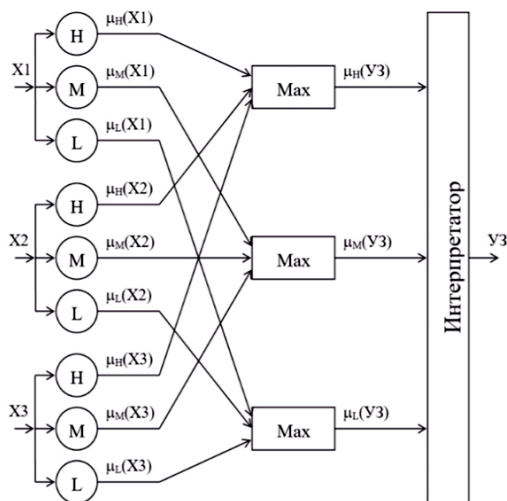


Рис. 1. Процедура свойственечеткого логического ввода

Здесь через H , M , L обозначены соответственно термы (нечеткие множества) для лингвистических переменных X_1 , X_2 , X_3 («Степень ущерба» от нарушения одного из свойств ИБ); H – «Высокая» (High),

М – «Средняя» (Middle), L – «Низкая» (Low); $\mu_H(X_i)$, $\mu_M(X_i)$, $\mu_L(X_i)$ – функции принадлежности значений X_i нечетким множествам H, M и L соответственно; $\mu_H(Y_3)$, $\mu_M(Y_3)$, $\mu_L(Y_3)$ – функции принадлежности значений Y_3 нечетким множествам H, M, L. Интерпретатор работает по следующему правилу:

$$Y_3 = \begin{cases} Y_{31}, & \text{если } \mu_H(Y_3) \geq 0,5, \text{ иначе,} \\ Y_{32}, & \text{если } \mu_M(Y_3) \geq 0,5, \text{ иначе,} \\ Y_{33}, & \text{если } \mu_L(Y_3) \geq 0,5. \end{cases}$$

Нечеткие множества «Низкая(-ий)», «Средняя(-ий)», «Высокая(-ий)» для переменных X_1 , X_2 , X_3 , Y_3 задаются с помощью функций принадлежности, форма и относительное расположение которых определяются экспертом исходя из субъективных представлений о возможных последствиях (ущербе) от реализации угроз безопасности информации.

В статье [2] авторами предложена и апробирована процессуальная модель определения (алгоритм формирования) критически важных объектов газотранспортной системы.

Если в случае прекращения работы объекта возникают существенные недопоставки соответствующих топливно-энергетических ресурсов по региону, то объект признается критическим. В качестве порогового значения использовалась величина $\delta_{\text{рег}} = 30 \%$. Если недопоставка составляет более 30 % от регионального объема, то объект можно считать КВО СЭ федерального уровня, если меньше 30 %, то регионального уровня.

В статье [3] Н.В. Давидюк, решает задачу получения количественной оценки требуемого уровня защищенности информационных ресурсов в рамках абстрактной автоматизированной системы обработки информации и управления (АСОИУ), с привлечением экспертных групп. В решении этой задачи одним из этапов является оценка требуемого уровня защищенности информационных ресурсов АСОИУ с учетом степени критичности нарушения их целостности.

Для этого вводится показатель степени критичности информационных ресурсов Q_i^k i -го звена АСОИУ. Данный показатель учитывает количественные оценки степени критичности нарушения конфиденциальности, целостности и доступности информации. В результате обработки экспертной информации была получена сводная матрица оценок критичности Q^k вида:

$$\begin{matrix} 3_1 \\ 3_i \\ 3_s \end{matrix} \begin{pmatrix} q_{\text{конф}}^1 & q_{\text{дост}}^1 & q_{\text{цел}}^1 \\ q_{\text{конф}}^i & q_{\text{дост}}^i & q_{\text{цел}}^i \\ q_{\text{конф}}^s & q_{\text{дост}}^s & q_{\text{цел}}^s \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где 3_i – i -е звено АСОИУ, $i = 1, \dots, s$, s – общее количество звеньев АСОИУ; $q_{\text{конф}}^i = [0 - 1]$, $q_{\text{дост}}^i = [0 - 1]$, $q_{\text{цел}}^i = [0 - 1]$ – коэффициенты степени нарушения свойств информационной безопасности (конфиденциальности, доступности и целостности соответственно) для 3_i , заданные на диапазоне $[0 \dots 1]$ и полученные в результате обработки экспертной информации на этапе предварительного анализа АСОИУ.

В статье [4] предложена нечеткая иерархическая модель оценки критичности состояния масляного автоматического выключателя.

Данный подход позволяет проанализировать качество работы масляного выключателя (МВ) по результатам тепловизионного контроля $y1 = f(x1, \dots, x4)$, визуального обследования $y2 = f(x5, \dots, x11)$, комплексно $Y = f(y1, y2)$.

Вид и параметры функций принадлежности входных лингвистических переменных $X1=(x1, \dots, x4)$ формируются на основе нечеткой кластеризации с использованием данных тепловизионного контроля выключателей. Для построения функций принадлежности переменных $X2=(x5, \dots, x11)$ используется метод экспертных оценок.

В результате оценки состояния МВ при помощи НИМ были сформулированы общие рекомендации для принятия решений о проведении мероприятий, направленных на поддержание их работоспособности в процессе эксплуатации.

В статье [5] для оценки вероятности утечки доступа авторами введено понятие «уровень критичности полномочия» и предложена методика автоматического расчёта уровней критичности полномочий, использующая метод анализа иерархий.

Для построения метода расчёта уровней критичности полномочий использована теоретико-графовая формализация ролевой политики разграничения доступа. Рассматриваются такие элементы модели, как множество полномочий $P = \{p_1, \dots, p_m\}$ и множество ролей $R = \{r_1, \dots, r_n\}$. Иерархия ролей описывается с помощью ориентированного графа, в котором узлы соответствуют ролям, определённым в системе, метки узлов – наборам их полномочий, направленные ребра задают отношение авторизации ролей друг на друга. Уровнем критичности полномочия $p_i \in P$ является числовая характеристика $S(p_i)$,

отражающая значимость p_i с точки зрения возможности его утечки. С учетом условия $S(p_i) \in [0, 1]$ и $\sum_{i=1}^m S(p_i) = 1$ уровень критичности можно интерпретировать как некоторую априорную вероятность утечки соответствующего полномочия.

Предлагаемые в статье количественные характеристики полномочий могут являться основой для определения вероятности реализации угроз информационной безопасности через уязвимости, порождаемые структурой ролей политики разграничения доступа. При этом уровень критичности $S(p_i)$ полномочия есть оценка априорной вероятности утечки полномочия p_i через уязвимость, скрытую в ролевом графе. Сравнительный анализ моделей, описанных выше представлен в таблице.

Сравнительный анализ моделей

Критерий	Модель оценки критичности целостности информации в АСУ ТП	Модель определения проанализировать КВО	Модель оценки критичности информации в АСОИУ	Модель оценки критичности состояния МВ	Модель оценки критичности оценки полномочия
Модель ориентирована на ТЭК	+	+	–	–	–
Модель ориентирована на объекты техники	–	+	–	+	–
Модель процессами учитывает объектов производственные функций риски	+	–	+	–	+
Модель учитывает технологические формализация риски	–	+	–	+	–
«Уровень исследований критичности» качественный показатель	+	+	+	+	+
«Уровень критичности» конечный метода показател	–	+	–	+	–

Ни одна из вышеописанных моделей не позволяет определить уровень критичности объекта техники (технологии) на основании производственных и технологических рисков одновременно, соответственно, не может быть использована для формирования перечней критичных объектов техники ТЭК.

Библиографический список

1. Комплексная оценка выполнения требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и разработок технологическими процессами / В.И. Васильев, А.М. Вульфин., М.Б. Гузаиров., А.Д. Кириллова // Информационные технологии. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 319–325.
2. Сендеров С.М., Воробьев С.В. Формирование перечней критически важных объектов газовой отрасли и их сочетаний с позиций энергетической безопасности страны // Известия РАН. Энергетика. – 2019. – № 1. – С. 59–69.
3. Давидюк Н.В. Методика оценки требуемого уровня защищенности информационных ресурсов автоматизированных систем обработки информации и управления // Научный вестник НГТУ. – 2016. – Т. 65, № 4. – С. 100–109.
4. Елтышев Д.К. Интеллектуальные модели комплексной оценки технического состояния высоковольтных выключателей // Информационно-управляющие системы. – 2016. – № 5. – С. 45–53.
5. Богаченко Н.Ф., Филиппова А.В. Ранжирование полномочий на основе анализа иерархии ролей в моделях разграничения доступа // Математические структуры и моделирование. – 2019. – № 1. – С. 89–96.

Сведения об авторах

Рыболовлев Илья Николаевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-19-1м, г. Пермь, e-mail: iribolovlev@mail.ru

Трусов Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, директор, Пермский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, г. Пермь, e-mail: tav@permnti.ru

В.С. Усенко

АНАЛИЗ МЕТОДОВ НАПИСАНИЯ ТЕСТОВ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Рассматриваются основные методы создания тестов на основе требований к программному обеспечению (ПО). Продемонстрирована работа этих методов на примере требований к ПО. А также наглядно показано, почему нельзя пользоваться только одним методом тест-дизайна, как необходимо комбинировать методы, чтобы получить тестовые наборы, которые покрывают все возможное поведение программы.

Ключевые слова: тестирование ПО, тест-дизайн, ручное тестирование, стратегия тестирования, требования к ПО.

V.S. Usenko

ANALYSIS OF TEST WRITING METHODS FOR TESTING SOFTWARE

This article discusses the basic methods for creating tests based on software requirements. The work of these methods is demonstrated using the example of software requirements. It also clearly shows why you cannot use only one test design method. How the methods should be combined to get test cases that cover all possible program behavior.

Keywords: software testing, test design, manual testing, testing strategy, software requirements.

В современной сфере информационных технологий сложность разрабатываемого ПО только возрастает, поэтому роль тестирования ПО также растет. Обычно в объемных проектах тестирование отнимает до 50 % времени и финансов на разработку ПО. Чем сложнее и объемнее проект, тем больше тестов потребуется написать тестировщику. При этом ручное тестирование отнимает много времени и подвержено ошибкам. Поэтому, чтобы сократить время разработки тестов и ошибки, которые допускают сами тестировщики на этапе ручного составления тестов, были разработаны методы тест-дизайна. Многие разработчики тестов пользуются ими скорее интуитивно, приобретая знания о них с опытом работы, а не из теоретических

знаний. Вследствие этого важно систематизировать эти знания и показать, как правильно их применять.

Для этого разберем имеющиеся методы тест-дизайна, первым из которых являются классы эквивалентности. Классы эквивалентности – это некое множество значений входных или выходных данных ПО, которые при исполнении программного кода проходят по одинаковым веткам алгоритма программы и выдают одинаковый результат [1]. Самые простые классы эквивалентности, на которые делятся проверки, позитивные и негативные.

Такие классы эквивалентности можно конкретизировать дополнительными классами до того момента, пока проверки не будут приводить к точным и конкретным результатам тестирования.

Рассмотрим пример на основе нескольких простых требований к ПО, представленных в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Требование 1	Если выполняется условие: значение текущей температуры на датчике №1 в диапазоне от 0 до 20 градусов, то ПО должно: – установить значению переменной «отображаемая температура» значение «холодно», – значению переменной «обогрев» установить значение 1, Иначе: – выполнить требование 2
Описание:	Рассмотрение холодного диапазона температур на первом датчике

Таблица 2

Требование 2	Если выполняется условие: значение текущей температуры на датчике №1 в диапазоне от 21 до 30 градусов, то ПО должно: – установить значению переменной «отображаемая температура» значение «тепло», – значению переменной «обогрев» установить значение 0
Описание:	Рассмотрение теплого диапазона температур на первом датчике

На основе этих двух требований выявим классы эквивалентности. Позитивным классом являются значения, которые указаны в требованиях, и их поведение определено в них. Его можно разделить на два класса входных значений: от 0 до 20 и от 21 до 30.

Негативным классом называются значения, поведение которых не указано в требованиях и результат их выполнения не определен. В него заносятся входные значения, чтобы проверить вероятность отказа программы, такие как: число больше 30, отрицательные значения, ввод символов и т.д. Результатом такого разбиения будет значение или диапазон значений, в котором необходимо взять только одну проверку с любым значением из обозначенного ранее диапазона. В итоге получаем:

 позитивные проверки: 2 и 25,
 негативные проверки: 35, -1, «Е».

Тут важно отметить факт, который забывают многие тестировщики, продолжая пользоваться только классами эквивалентности. Существуют еще методы тест-дизайна, которые должны обязательно использоваться вместе с первым методом. И, в частности, каждый разработчик тестов обязан пользоваться еще и другим методом – граничных значений.

Граничные значения – метод тест-дизайна, который вводит дополнительные проверки на границах условий в требованиях [2]. Снова воспользуемся нашим примером требований, представленных в табл. 1 и 2.

Чтобы найти граничные значения, необходимо выяснить, какие значения лежат на стыке диапазонов наших классов. Опыт работы в области тестирования говорит, что основная часть ошибок ПО находится как раз на стыке значений, где в требованиях поведение программы изменяется. Из-за этого при написании тестов добавляют еще пару значений: перед границей диапазона и сразу после нее [3].

Получается такой набор: 19, 20, 21, 22, 29, 30, 31, -1, 0, 1.

Два негативных класса: от -1 и меньше и от 31 и больше.

Для них тоже необходимо применить метод, в итоге получая: -1, 0, 30, 31, максимальное и минимальное значение переменной.

Избавляемся от одинаковых значений, как для этих классов, так и для двух методов в целом, получая финальный тестовый набор входных переменных: -1, 0, 1, 19, 20, 21, 22, 29, 30, 31, «Е», максимальное и минимальное значение переменной.

Таким образом, при использовании комбинации из двух методов тест-дизайна получается наиболее полный набор тестовых примеров, который необходимо задать, позволяющий охватить все возможное поведение программы. Этот набор включает в себя как проверку

нормальной работы программы, так и не описанные в требованиях ситуации, которые, вероятно, могут привести к отказам ПО, а также места на стыке диапазонов, в которых программисты наиболее часто допускают ошибки при кодировании.

Библиографический список

1. Куликов С. Тестирование программного обеспечения. – ЕРАМ Systems, 2020. – 312 с.
2. Кулаков К.А., Димитров В.М. Основы тестирования программного обеспечения. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2018. – 57 с.
3. Степанченко И.В. Методы тестирования программного обеспечения. – Волгоград: РПК «Политехник», 2006. – С. 9–30.

Сведения об авторе

Усенко Валентина Сергеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ1-19-1м, г. Пермь, e-mail: usenckovalya@yandex.ru

А.Г. Марахтанов, Н.В. Смирнов, Е.О. Паренченков

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-СИСТЕМЫ ПО КУРСОРНОМУ ПОЧЕРКУ

Исследуется возможность идентификации пользователей в веб-системе путем анализа данных об использовании ими мыши с помощью методов машинного и глубокого обучения. Разработана игровая веб-система, посредством взаимодействия пользователей с которой собран набор данных. Произведена идентификация пользователей по курсорному почерку в игровых сессиях с помощью методов одноклассовой классификации, метода градиентного бустинга и однослойного перцептрона. Оценено качество классификации, предоставляемое построенными моделями.

Ключевые слова: курсорный почерк, аутентификация, машинное обучение, нейронные сети.

A.G. Marakhtanov, N.V. Smirnov, E.O. Parenchenkov

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS TO IDENTIFY THE WEB SYSTEM USERS BY MOUSE DYNAMICS

In this article we study the possibility of identifying the web system users by analyzing the data of their mouse dynamics with machine learning and deep learning methods. The game web system, by interaction of users with which the dataset was obtained, was developed. The identification of users by their mouse dynamics was executed by the one-class classification methods, gradient boosting and single-layer perceptron. The classification quality provided by the constructed models was evaluated.

Keywords: mouse dynamics, authentication, machine learning, neural networks.

Ввиду увеличения числа краж учетных записей пользователей в сети Интернет стимулируется развитие новых технологий борьбы с подобными угрозами. Одним из видов таких технологий являются методы идентификации пользователей, основанные не на использовании логина и пароля, а на анализе поведенческих особенностей пользователей. Такие системы анализируют метрики взаимодействия пользователей с устройствами ввода – курсорный почерк, т.е. особенности использования мыши, и клавиатурный почерк – метрики ввода текста с помощью клавиатуры.

Во многих системах поведенческой аутентификации используются методы машинного и глубокого обучения. Например, в работе [1] произведено сравнение методов анализа курсорного почерка на основе алгоритма опорных векторов, алгоритма k ближайших соседей, а также их комбинации (так называемого ансамбля). Авторы [1] утверждают, что ансамбль различных методов обеспечивает наиболее качественное обнаружение фактов несанкционированного доступа. Авторы [2] разработали классификатор на основе нейронных сетей, который качественно решает задачу идентификации пользователей по их поведению в различных условиях – как при работе всех пользователей на одной рабочей станции, так и при использовании пользователями своих домашних компьютеров.

Данная работа посвящена применению методов машинного и глубокого обучения для идентификации пользователей в веб-системе по их курсорному почерку. Целью исследования являлось определение метода, обеспечивающего наиболее высокое качество идентификации пользователей по курсорному почерку в их сессиях.

Описание системы. Данные о действиях пользователей были собраны с помощью игровой веб-системы – набора веб-страниц с игровыми полями, скрипта для сбора информации о движениях мыши и нажатиях на ее кнопки, и веб-сервера, принимающего записанные данные и сохраняющего их в базе данных.



Рис. 1. Игровое поле одного из этапов игры

Участники исследования проходили шесть этапов, в рамках каждого из которых требовалось нажать на кнопки с числами на игровом поле в порядке возрастания чисел. Для некоторых этапов требовалось

использовать только левую кнопку мыши, а для других – осуществлять одиночные и двойные нажатия левой кнопки мыши и нажатия правой кнопки мыши. Для обучения алгоритмов использовалась информация о взаимодействии пользователей с мышью в течение первых пяти игр, для тестирования – о событиях шестой игры. На рис. 1 представлено игровое поле одного из этапов игры.

Набор данных. В эксперименте принимали участие 10 пользователей мужского и женского пола. Собранный набор данных состоит из информации о движениях мыши, а также о щелчках с помощью обеих кнопок мыши. Структура записи в базе данных об одном событии движения мыши или нажатия на кнопку представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура записи в базе данных об одном событии

№ п/п	Название поля	Значение
1	ts	Временная отметка – число миллисекунд, прошедшее с момента начала игровой сессии
2	button	Числовой код нажатия кнопки: 1 – кнопка не нажата, 2 – нажата левая кнопка мыши, 3 – правая кнопка мыши, 4 – средняя кнопка мыши
3	state	Числовой код события: 1 – движение курсора мыши, 2 – кнопка мыши отпущена, 3 – прокрутка вверх, 4 – перетаскивание (drag and drop), 5 – кнопка мыши нажата, 6 – прокрутка вниз
4	x	Абсцисса позиции курсора относительно левого верхнего края страницы
5	y	Ордината позиции курсора относительно левого верхнего края страницы
6	session_id	Уникальный идентификатор игровой сессии

Используемый в рамках исследования подход к извлечению признаков изложен в [3] и [4]. Для движений курсора извлекаются такие признаки, как скорость, ускорение, угловая скорость и т.д., а для щелчков – длительность нажатия на левую и правую кнопки мыши и длительность двойных щелчков.

Используемые алгоритмы машинного и глубокого обучения

1. *Алгоритмы одноклассовой классификации:* одноклассовая машина опорных векторов, изолирующий лес и локальный уровень выброса. Одноклассовая классификация – это вариант задачи классификации, при которой классификатор распознает объекты одного класса, а объекты других классов помечает как аномалии. Трениро-

вочный набор данных в этом случае составляется из объектов только одного класса. В рамках решаемой задачи распознаваемому классу соответствовал класс сессий текущего пользователя, а аномалиям – классы сессий других пользователей.

Одноклассовая машина опорных векторов (One-class SVM) – это модификация машины опорных векторов, предназначенная для поиска аномалий. Она разделяет пространство признаков гиперплоскостью так, чтобы объекты целевого класса находились внутри его ограниченного подпространства.

Алгоритм изолирующего леса (Isolation Forest) является модификацией случайного леса, предназначенной для поиска аномалий. Метрикой того, что объект является аномальным, является среднее расстояние от корней деревьев леса до его листьев, на которых располагаются объекты.

Алгоритм локального уровня выброса (LOF) основан на методе k ближайших соседей. Он подсчитывает локальный уровень выброса – отклонение локальной плотности объекта от его соседей в пространстве признаков.

2. *LightGBM*. Градиентный бустинг – это алгоритм машинного обучения, который создает классификатор в виде ансамбля «слабых» моделей, таких как деревья решений. Он строит модель поэтапно, позволяя оптимизировать произвольную дифференцируемую функцию потерь. *LightGBM* является разновидностью градиентного бустинга, разработанную компанией Microsoft. Он имеет высокую скорость обучения, а также эффективно использует вычислительные ресурсы.

3. *Перцептрон*. Перцептрон – одна из простейших нейронных сетей, состоящая из входного полносвязного слоя, одного или нескольких скрытых слоев, а также выходного полносвязного слоя. В ходе оптимизации архитектуры нейронной сети сделан вывод, что многослойные перцептроны не превосходят однослойный перцептрон по качеству классификации, поэтому используемый в исследовании классификатор был основан на однослойном перцептроне.

Метрики классификации. Метриками, с помощью которых производилась оценка качества классификации, являлись точность (*precision*) (1), полнота (*recall*) (2) и F -мера (3):

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (1)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (2)$$

$$F_1 = \frac{2}{precision^{-1} + recall^{-1}}, \quad (3)$$

где TP (true positive rate) – количество сессий, верно классифицированных как принадлежащие текущему пользователю, TN (true negative rate) – количество сессий, верно классифицированных как не принадлежащие текущему пользователю, FP (false positive rate) – количество сессий, не принадлежащих текущему пользователю, но классифицированных этому пользователю, FN (false negative rate) – количество сессий, принадлежащих текущему пользователю, но классифицированных как сессии другого пользователя.

Поскольку задача являлась задачей многоклассовой классификации, проводилось макроусреднение метрик – вычислялись значения метрик для каждого пользователя, затем полученные значения были усреднены по всем пользователям.

Результаты классификации. Метрики качества классификации сессий, полученные с помощью описанных выше алгоритмов, представлены в табл. 2. В качестве основной метрики качества классификации использовалась F -мера.

Таблица 2

Метрики качества классификации сессий курсорного почерка

№ п/п	Алгоритм	Точность, %	Полнота, %	F-мера, %
1	One-class SVM	85	94	89
2	Isolation Forest	68	83	75
3	Local Outlier Factor	82	91	86
4	LightGBM	55	70	60
5	Однослойный перцептрон	85	90	87

Наибольшие значения метрик продемонстрировали модели на основе одноклассовой машины опорных векторов, локального уровня выброса и однослойного перцептрона. Однако следует заметить, что модели на основе алгоритмов одноклассовой классификации требуют построения отдельного классификатора для каждого пользователя, в то время как решение на основе однослойного перцептрона позво-

ляет классифицировать сессии всех пользователей с помощью одного классификатора. Таким образом, в рамках решаемой задачи следует считать оптимальной модель на основе однослойного перцептрона.

Для достижения наибольшего значения F -меры в модель на основе однослойного перцептрона достаточно передавать информацию о событиях в течение первых 25 с игровой сессии, что проиллюстрировано на рис. 2.

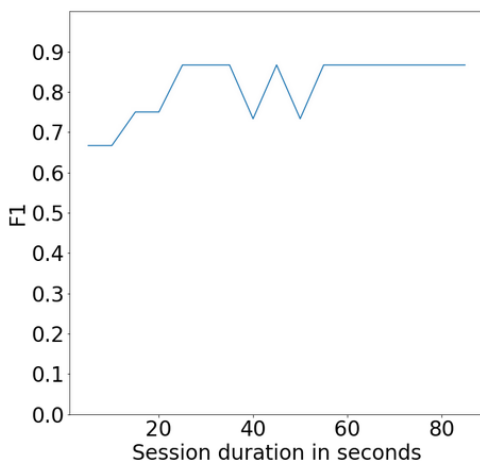


Рис. 2. Зависимость F -меры однослойного перцептрона от длительности игровых сессий в наборе данных

Заключение. В результате исследования получен набор данных о взаимодействии пользователей с игровой веб-системой, из исходных данных извлечены дополнительные признаки, построен ряд классификаторов на основе алгоритмов машинного и глубокого обучения. Наибольшие значения метрик продемонстрировали модели на основе одноклассовой машины опорных векторов, локального уровня выброса и однослойного перцептрона. Оптимальной моделью в рамках данной задачи следует считать модель на основе однослойного перцептрона, так как она позволяет классифицировать сессии всех пользователей с помощью единого классификатора. Исследование влияния увеличения числа пользователей на качество классификации с помощью построенной модели является основной целью дальнейших работ.

Библиографический список

1. Continuous Authentication of Mouse Dynamics Based on Decision Level Fusion / L. Gao [et al.] // 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing, IWCMC 2020. – 2020. – P. 210–214. DOI: 10.1109/IWCMC48107.2020.9148499

2. Ahmed A.A.E., Traore I. A New Biometric Technology Based on Mouse Dynamics // IEEE Transaction on Dependable and Secure Computing. – 2007. – Vol. 4, no. 3. – P. 165–179. DOI: 10.1109/TDSC.2007.70207

3. Gamboa H., Fred A. A Behavioural Biometric System Based on Human Computer Interaction // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2004. – Vol. 5404. – P. 1–12. DOI: 10.1117/12.542625

4. Yildirim M., Anarim E. Novel Feature Extraction Methods for Authentication via Mouse Dynamics with Semi-Supervised Learning // Proceedings – 2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference, ASYU 2019. – 2019. – P. 1–6. DOI: 10.1109/ASYU48272.2019.8946415

Сведения об авторах

Марахтанов Алексей Георгиевич – директор Центра искусственного интеллекта Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск, e-mail: marahtanov@petsu.ru

Смирнов Николай Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория вероятностей и анализ данных» Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск, e-mail: smirnovn@petsu.ru

Паренченков Евгений Олегович – магистрант Петрозаводского государственного университета, гр. 22505, г. Петрозаводск, e-mail: parenche@cs.karelia.ru

И.А. Осипенко, О.В. Гончаровский

СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В «УМНОМ ДОМЕ»

Рассматриваются проблемы автоматизации объекта освещения в «умном доме» и технологии передачи данных по линии электропередач. Предложена электрическая схема для передачи данных по линии электропередач. Произведен анализ предложенной схемы и способа передачи данных по линии электропередач.

Ключевые слова: управление освещением, модуляция, передача данных, PLS.

I.A. Osipenko, O.V. Goncharovsky

METHOD OF DATA TRANSMISSION THROUGH POWER LINE AND ITS APPLICATION IN THE "SMART HOUSE"

This article discusses the problems of automation of a lighting object in the "Smart Home". Technologies of data transmission over power lines are considered. An electrical circuit for data transmission over power lines is proposed. The analysis of the proposed scheme and method of data transmission over power lines is carried out.

Keywords: lighting control, modulation, data transmission, PLS.

В современном мире всё автоматизируется. Квартиры и частные дома не исключение. Умный дом – это комплекс решений, которые позволяют автоматизировать быт человека. Для автоматизации нового дома или квартиры на этапе строительства нет никаких проблем. В план электропроводки закладываются все необходимые линии электропитания и, если необходимо, линии передачи данных. Однако для готовых квартир и домов не всегда получается сделать тот или иной объект в доме «умным», и связано это с уже имеющейся проложенной электропроводкой.

Рассмотрим ситуацию автоматизации освещения в самом стандартном частном доме или квартире. А точнее, рассмотрим связку «люстра–выключатель».

В качестве инструмента автоматизации используем встраиваемое Wi-Fi реле. Основное, что интересует в данном реле, – это то,

что оно может включать и выключать нагрузку дистанционно, под управлением через Wi-Fi сеть. На рынке большое количество предложений Wi-Fi реле, все они работают по одному принципу. К входу Wi-Fi реле подводится питание 220 В (нулевой и фазный проводники), к выходу подключается нагрузка, в нашем случае люстра. Также в большинстве Wi-Fi реле имеется вход для подключения выключателя. На рис. 1 приведена общая электрическая схема подключения Wi-Fi реле.

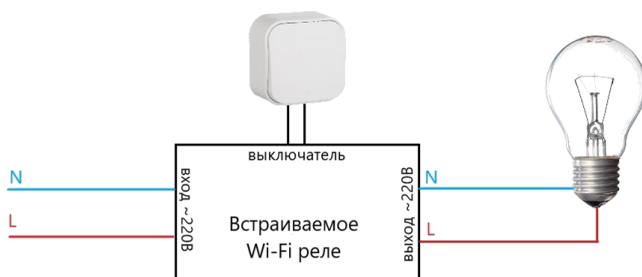


Рис. 1. Схема подключения Wi-Fi реле

Все виды встраиваемых W-Fi реле на рынке разработаны в маленьком корпусе, чтобы их можно было «спрятать» в монтажную коробку за выключателем в стене, и это очень удобно. Однако именно тут возникает проблема. Обратим внимание, что для питания таких реле необходимы нулевой и фазный проводники линии электропередач. Если «умный дом» интегрируется на этапе планирования электропроводки, проблема решается включением в проект нулевого проводника до выключателя, чтобы встраиваемое Wi-Fi реле работало корректно.

Разберем стандартную электрическую схему освещения (рис. 2) в типичном доме или квартире. Все нейтральные проводники проходят в монтажных распределительных коробках напрямую к люстре, а фазные провода проходят через выключатель, который разрывает цепь питания люстры. К выключателю не проводится нулевой проводник. Следовательно, «спрятать» Wi-Fi реле за выключателем не получится, так как работать без нейтрального проводника реле не может.

Самый лучший вариант – это интегрировать встраиваемое Wi-Fi реле в распределительную коробку. Однако отбросим этот

вариант, поскольку в подавляющем количестве домов и квартир стоят натяжные потолки и распределительные коробки расположены над потолком. Следовательно, установка реле в распределительную коробку осложняется снятием натяжного потолка.

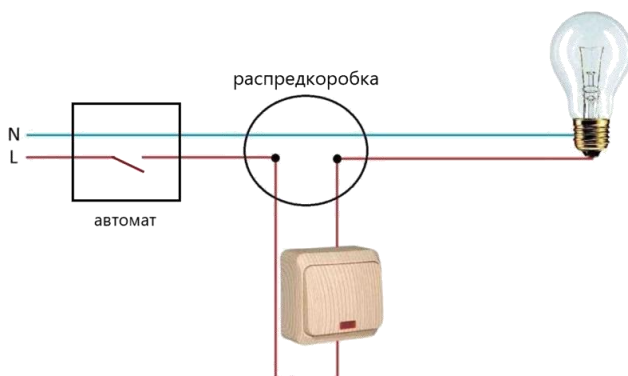


Рис. 2. Типичная электрическая схема освещения

Как и говорилось выше, все встраиваемые реле изготовлены в маленьком корпусе, это позволяет интегрировать реле непосредственно в люстру (рис. 3).

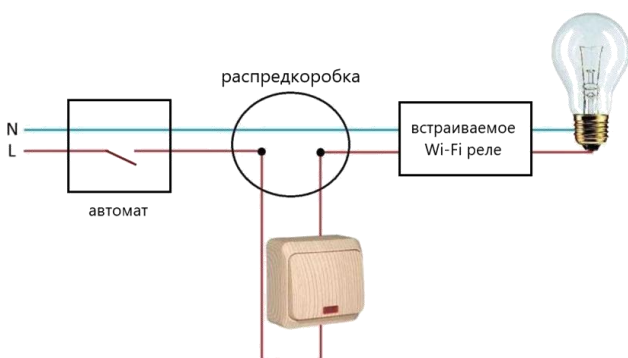


Рис. 3. Электрическая схема интеграции встраиваемого реле в люстру

И тут тоже возникает проблема. Если выключатель будет всегда включен, можно управлять освещением дистанционно. Однако как только состояние выключателя изменится на выключенное, реле

обесточится и освещением управлять никак не получится. Следовательно, пропадает возможность физического полноценного управления освещением с выключателя. Для интегрирования реле в типичный дом или квартиру без изменения электропроводки и дополнительных монтажных работ (снятие натяжного потолка) больше всего подходит вариант с интеграцией реле в люстру, поскольку в случае необходимости доступа к реле не нужно снимать натяжной потолок, а также есть полноценное питание. Тогда необходимо решить проблему с возможностью физического полноценного управления реле с выключателя.

Необходимо устройство, которое будет работать последовательно с встраиваемым реле, схема подключения этого устройства к электросети изображена на рис. 4. Также данное устройство должно сообщать встраиваемому реле состояние выключателя.

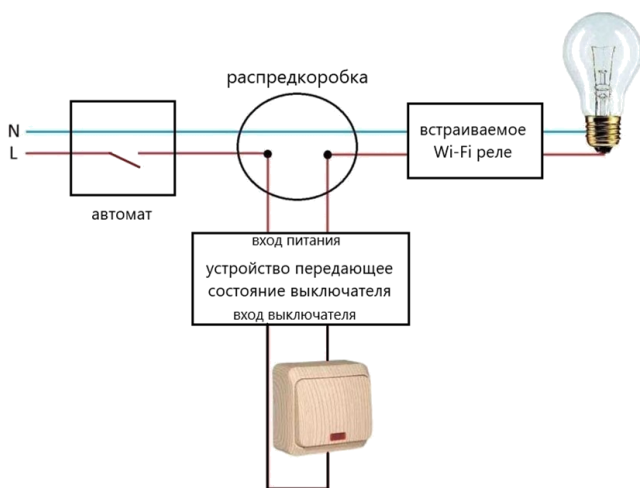


Рис. 4. Электрическая схема подключения устройства обработки состояния выключателя

Было бы удобно передавать состояние выключателя через линии электросети. Такой способ передачи данных имеет название Power Line Communication (PLC) коммуникация по силовой линии. Это общее имя, описывающее все технологии, которые используют электросеть для передачи данных. PLC разделяется на два основных технологических подхода к передаче данных через электросеть [1].

Широко распространённая технология заключается в передаче данных с помощью высокочастотного сигнала, который передается в линию электропередач. Плюсы этого способа, что он является высокоскоростным, до 200 Мбит/с, а также данные можно снять из любой точки электросети, в пределах затухания сигнала. Минус данного способа в том, что нужно использовать трансформаторы и частотные фильтры, а они занимают много места. А также вся электросеть превращается в антенну, которая излучает радиопомехи на коротких, средних и длинных волнах [2].

Второй способ заключается в передаче данных с помощью широтной модуляции сетевого напряжения. Минусы этого способа:

- невозможно построить двунаправленную систему передачи информации;

- низкая скорость передачи данных, максимальная 100 бит/с.

Плюсы этого способа:

- не нужны трансформаторы или фильтры, как в первом способе, достаточно управляющего ключа;

- в электросеть не вносятся никаких дополнительных источников сигнала, и не возникает источников электромагнитных помех.

Оценив все достоинства и недостатки двух технологий передачи данных по электросети, можно сделать вывод, что идеально подходит широтное модулирование. Полезная передающая информация занимает всего один бит, это состояние выключателя. Не нужны трансформаторы и фильтры, которые занимают много места. И нет необходимости в обратной связи.

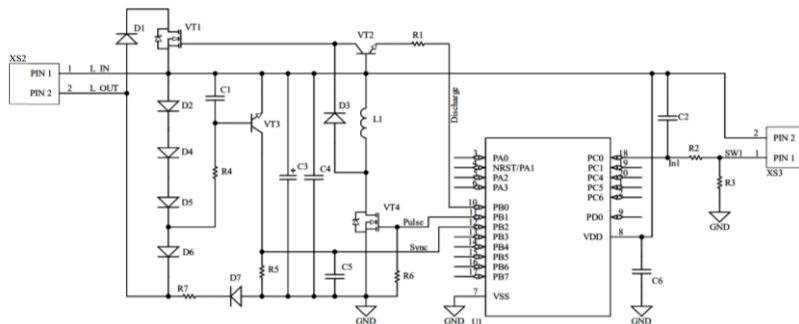


Рис. 5. Электрическая схема устройства, передающего состояние выключателя

Один из примеров электрических схем таких устройств изображен на рис. 5. В рамках этой статьи полного анализа данной схемы не будет. Для питания микроконтроллера $U1$ используется падение напряжения на полупроводниках $D2$ - $D6$, выпрямляется и фильтруется ток элементами $R2$, $D7$, $C3$ и $C4$. Полевым транзистором $VT1$ осуществляется модуляция сетевого напряжения. Устройство подключается к электрической сети через разъем $XS2$. К разъему $XS3$ подключается выключатель.

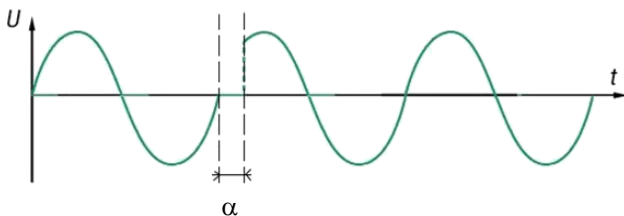


Рис. 6. Форма модулированного сетевого напряжения

Электрическая схема (рис. 5) способна передавать бит информации только на одной полуволне периода синуса, благодаря второй половине схема запасает энергию для поддержания функционирования. Чтобы передать один бит информации, во время перехода значения напряжения через «ноль» транзистор $VT1$ закрывается, спустя угол α (рис. 6) транзистор открывается, и оставшаяся часть полуволны передается в нагрузку. Последовательностью модулированных и не модулированных периодов можно формировать информационное сообщение.

На приемной стороне, а точнее встраиваемому реле, достаточно фиксировать переход значения напряжения сети через «ноль» и замерять его длительность. Так как во встраиваемом реле стоит микроконтроллер, в самом простом случае это можно реализовать с помощью оптопары, подключенной к порту микроконтроллера.

Однако у данного способа модуляции сетевого напряжения есть значительный недостаток – это уменьшение среднего напряжения сети после модуляции, что было рассмотрено в статье «Способ передачи информации по питающей сети и его применение в построении систем автоматизированного управления наружным освещением» [3]. В статье продемонстрировано, что большинство устройств будут работать в номинальной мощности с максимальным углом открытия

полевого транзистора до 50°, чего вполне достаточно для передачи и детектирования бита информации. К тому же для освещения в основном используют светодиодную технику, которая, в свою очередь, имеет импульсные блоки питания, а они абсолютно нечувствительны к широтной модуляции.

Библиографический список

1. Баранова Е.А. Передача данных по электросетям // Интернет журнал по широкополосным сетям и мультимедийным технологиям. – 2009. – № 3.

2. Dietrich K. Системы ВЧ связи по ЛЭП. Коммуникационные решения для электрических сетей: пер. с англ. Е.А. Малютина // Электротехнический рынок. – 2007. – № 11.

3. Вставская Е.В., Костарев Е.В. Способ передачи информации по питающей сети и его применение в построении систем автоматизированного управления наружным освещением // Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2011. – Вып. 13, № 2(219). – С. 81–85.

Сведения об авторах

Осипенко Игорь Александрович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: deg-94@mail.ru

Гончаровский Олег Владленович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: 35911953@mail.ru

И.Н. Савенков

РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Рассмотрен вопрос исследования фундаментальных эмоциональных состояний человека и основные характерные особенности их выражения в визуальном представлении. Описан алгоритм реализованного экспериментального исследования по распознаванию эмоций человека на основе визуальной информации с использованием свёрточной нейронной сети. Приведены результаты экспериментальных исследований. В результате анализа изображений при классификации некоторых эмоций могут возникать неточности из-за схожести образцов. Наиболее чётко распознаётся эмоция счастья или радости.

Ключевые слова: свёрточная нейронная сеть, визуальные данные эмоционального состояния, распознавание эмоций, машинное обучение.

I.N. Savenkov

RECOGNITION OF HUMAN EMOTIONS BASED ON VISUAL INFORMATION USING CONVENTIONAL NEURAL NETWORK

This article discusses the issue of studying the fundamental emotional states of a person and the main characteristic features of their expression in visual presentation. The algorithm of the implemented experimental research on recognition of human emotions based on visual information using a convolutional neural network is described. The results of experimental studies are presented. As a result of image analysis, the classification of some emotions may result in inaccuracies due to the similarity of the samples. The emotion of happiness or joy is most clearly recognized.

Keywords: convolutional neural network, visual data of emotional state, emotion recognition, machine learning.

Цель и задача исследования состоят в автоматизации компьютерного распознавания эмоций человека на основе визуальной информации, описание и практическая реализация алгоритма распознавания. Необходимость автоматизации и совершенствования технологий распознавания приобретает огромную популярность. Технология распознавания эмоций широкого используется в системах, применяемых в различных сферах человеческой деятельности:

1. Робототехника – для повышения степени интеллектуализации бытовых роботов.

2. В системах контроля за самочувствием, чтобы определить состояние человека в случаях опасности для его жизни.

3. В охранных системах при оперативном обнаружении, отслеживании и реагировании на людей, которые проявляют эмоции, характерные для нарушителей правопорядка, психически больных, террористов и т.д.

4. В сфере маркетинга для увеличения продаж товаров и услуг.

А также в огромном количестве других сфер и областей жизни человека.

В данной работе рассмотрены такие фундаментальные эмоциональные состояния человека, выделяемые в психологии, как гнев, презрение, отвращение, страх, счастье, обычное состояние, печаль, удивление [1, 2].

Гнев, как негативное эмоциональное состояние, характеризующееся следующими основными точками: брови опущены и сведены вместе, блеск в глазах, рот закрыт, губы сужены.

Презрение – также отрицательно эмоционально окрашенное состояние, основной точкой которого является приподнятый уголок с одной стороны сомкнутого рта.

Отвращение – негативное эмоциональное состояние, выражающееся сморщенным выражением лица и приподнятой верхней губой.

Страх, как самая легко распознаваемая отрицательная эмоция, имеет такие основные точки, как приподнятые и вытянутые брови, напряженные нижние веки, приподнятые верхние веки, немного вытянутые губы.

Счастье – позитивная эмоция, характеризующаяся небольшими морщинками в уголках около глаз, приподнятыми щеками и задействованными мышцами вокруг глаз.

Нейтральное состояние выражается спокойным состоянием лицевых мышц вокруг глаз, рта, а также скул.

Печаль характеризуется слегка опущенными верхними веками, рассеянным взглядом, слегка опущенными уголками рта и относится к негативных эмоциям.

Удивление, как скоротечная эмоция, выражена приподнятыми бровями, широко раскрытыми глазами и приоткрытым ртом.

Для практической реализации алгоритма распознавания использовалась свёрточная нейронная сеть. Нейронная сеть обучалась с использованием Framework Keras (TensorFlow) на основе подготовленной выборки изображений эмоций.

Для формирования обучающей и тестовой выборки были использованы базы изображений в суммарном объёме около 125 тысяч фотографий.

Для исследования объём обучающей выборки составил более 80 тысяч фотографий людей, демонстрирующих различные эмоции. Фрагмент изображений обучающей выборки показан на рис. 1.

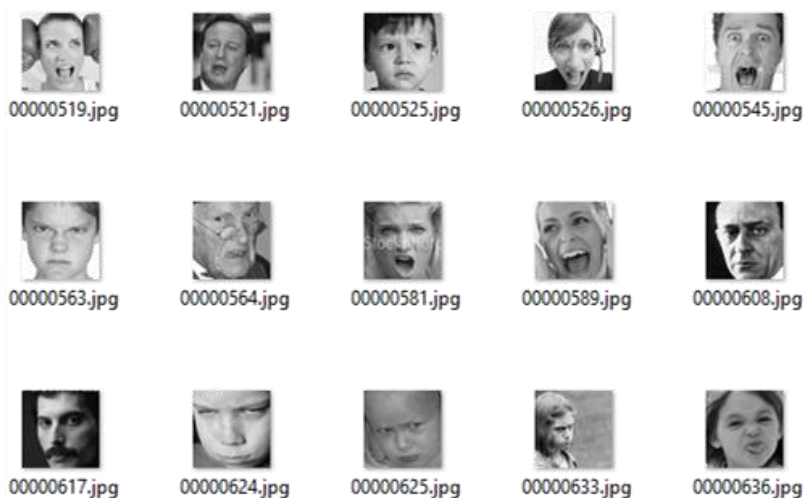


Рис. 1. Фрагмент обучающей выборки

Алгоритм процесса распознавания представлен на рис. 2 и состоит из нескольких этапов: на вход подается изображение, затем происходит поиск лиц на этом изображении, если лиц нет – процесс завершается, в обратном случае – меняется разрешение изображения для пригодности к идентификации, далее происходит классификация и выдача результатов, процесс завершается в том случае, если других лиц на изображении не найдено. На рис. 3, 4 изображена модель нейронной сети.

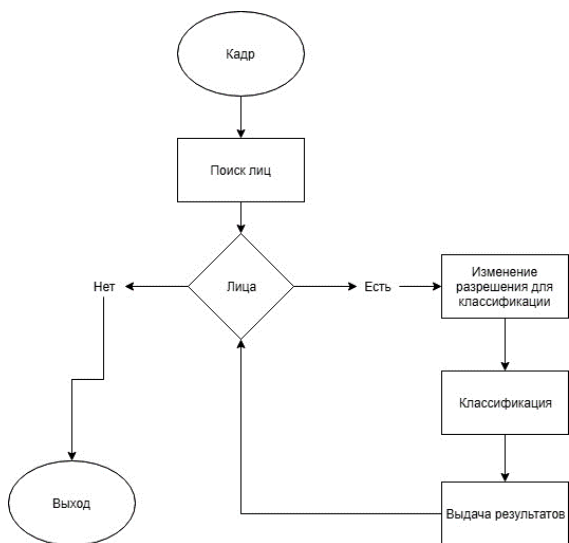


Рис. 2. Алгоритм процесса распознавания

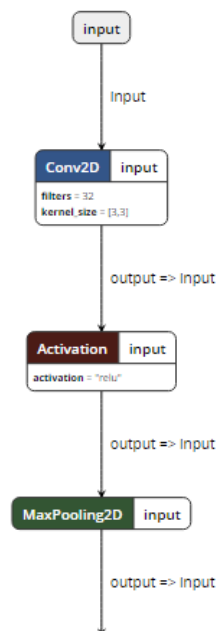


Рис. 3. Модель свёрточной нейронной сети (часть 1)

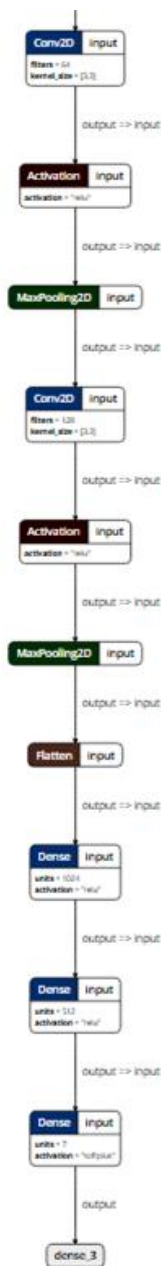


Рис. 4. Модель свёрточной нейронной сети (часть 2)

Экспериментальные исследования анализа изображений с использованием свёрточной нейронной сети показали следующие результаты:

1) Framework Keras (TensorFlow) в результате обучения показал точность 69 %;

2) при использовании изображений, которые не входили в обучающий набор, – 57 %.

В целом возникают погрешности в распознавании. Например, при классификации эмоций гнева, страха и удивления могут возникать неточности из-за схожести образцов, но результаты можно считать удовлетворительными. Наиболее чётко распознаётся эмоция счастья или радости.

Для улучшения показателей необходимо внести корректировки в модель нейронной сети, например, добавить слои с введением случайного значения, применить графический ускоритель с поддержкой CUDA, чтобы уменьшить время на обучение и увеличить количество эпох обучения.

Библиографический список

1. Наука эмоций: как умные технологии учатся понимать людей [Электронный ресурс] // Сайт Habr. – URL: <https://habr.com/company/netologyru/blog/354828/> (дата обращения: 12.05.2021).

2. Виды эмоций, их характеристика [Электронный ресурс] // Сайт Femme-today. – URL: <https://femme-today.info/psychology/personality/vidy-emotsij-harakteristika/> (дата обращения: 15.05.2021).

Сведения об авторе

Савенков Иван Николаевич – старший преподаватель Донецкого национального университета, г. Донецк, e-mail: sim675kn@gmail.com

А.А. Нагаев, А.А. Тютюных

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКОГО НАПОЛНЕНИЯ СЦЕНЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА

Решается задача оптимизации графического наполнения сцены компьютерного тренажера. Определены параметры объектов сцены компьютерного тренажера. Составлена математическая модель задачи оптимизации. Разработан алгоритм для решения задачи.

Ключевые слова: компьютерный тренажер; графическое наполнение сцены; алгоритм оптимизации.

A.A. Nagaev, A.A. Tyutyunyk

DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZATION ALGORITHM FOR A COMPUTER SIMULATOR SCENE GRAPHIC CONTENT

This article solves the problem of an optimization of the computer simulator scene graphic content. The parameters of the scene objects of the computer simulator are determined. The mathematical model of the optimization problem is compiled. The algorithm for solving the problem is developed.

Keywords: computer simulator, scene graphic content, optimization algorithm.

В настоящее время активно происходит внедрение компьютерных тренажеров в процесс обучения операторов кранов. Современные компьютерные тренажеры имеют тенденцию увеличения уровня иммерсивности, что приводит к увеличению эффективности обучения операторов [1]. Высокий уровень иммерсивности предполагает наличие фотореалистичной графики, однако наличие большого количества реалистичных объектов на сцене и визуальных эффектов влияет на уровень производительности графической составляющей компьютерного тренажера. Поэтому целесообразна разработка алгоритма оптимизации графического наполнения сцены для того, чтобы компьютерный тренажер работал на устройствах с разным уровнем производительности.

Стоит отметить, что алгоритм оптимизации графического наполнения сцены разрабатывается для компьютерного тренажера порталного крана кафедры ИТАС ПНИПУ [2], программное обеспечение которого разработано на платформе Unity.

Техника управления уровнями детализации в Unity позволяет уменьшить число полигонов для объектов сцены в зависимости от их расстояния от камеры. Для использования данной техники объект сцены должен иметь несколько сеток с разным уровнем детализации в его геометрии. Чем дальше объект сцены находится от камеры, тем ниже уровень детализации отображает Unity. Этот метод снижает нагрузку на оборудование и, следовательно, сможет увеличить частоту кадров на устройствах с более низким уровнем производительности.

Недостаток данного решения заключается в использовании только расстояния до камеры для выбора уровня детализации объекта. При этом не учитываются такие параметры, как, например, размер объекта на сцене или его относительная важность, в результате приходится указывать вручную расстояние до камеры, при котором происходит смена уровня детализации.

Магазин готовых решений Unity Asset Store предоставляет платные решения отдельных систем, одно из которых – система управления уровнями детализации в реальном времени [3]. Недостаток использования готовых решений заключается в том, что зачастую для них не существует подробной документации и описания использованных алгоритмов, из-за чего трудно определить, как встроить данное решение в существующий проект.

Поэтому разработка собственного решения для управления уровнями детализации объектов сцены является актуальной задачей. Полученное решение будет иметь возможность автоматической настройки системы уровней детализации, а также будет разработана непосредственно для компьютерного тренажера портального крана.

Главной проблемой в системе управления уровнями детализации является определение момента, когда необходимо менять детализацию объекта и на какую [4]. Разрабатываемый алгоритм работает с использованием двух функций – стоимости и выгоды. Функция стоимости оценивает время, необходимое на рендер объекта, а функция выгоды оценивает вклад объекта в восприятие сцены [5]. Ниже будет осуществлен подбор параметров, которые влияют на выгоду объектов на сцене, а также параметров стоимости, которые влияют на время рендера.

Выгода объекта – это оценка вклада в восприятие сцены модели объекта O с уровнем детализации L и алгоритмом рендеринга R . Выгода объекта рассчитывает количество и точность информации, передаваемой пользователю. Точно смоделировать человеческое восприятие и понимание чрезвычайно сложно, поэтому оценка выгоды объекта была упрощена.

Функция выгоды объекта зависит в основном от размера объекта на финальном изображении. Другими словами, объекты, которые покрывают большую часть экрана, вносят больший вклад в изображение. Параметр выгоды объекта, зависящий от его размера, будет рассчитываться как отношение количества пикселей, покрытых объектом, к общему количеству пикселей.

Функция выгоды объекта также зависит от точности рендера объекта. Использование более детальной сетки или более реалистичного алгоритма рендеринга для объекта генерирует изображение более высокого качества и, следовательно, передает более точную информацию пользователю. Основываясь на этом, предполагается, что точность увеличивается с увеличением числа вершин и полигонов объекта. Следовательно, значение параметра точности объекта – это отношение числа полигонов уровня детализации объекта к числу полигонов самого детального представления этого объекта.

Функция выгоды использует семантику для того, чтобы учесть относительную важность объекта. Например, в тренажере крановщика кабина крана и стрела крана играют важную роль в симуляции. Если они будут сильно упрощены или убраны со сцены, то это сильно повлияет на общее восприятие сцены. Чтобы принять в расчет данный фактор, к каждому объекту сцены добавляется коэффициент его относительной важности.

Функция выгоды объекта также зависит от фокуса. Объекты, которые появляются в части экрана, на которую смотрит пользователь, вносят больший вклад в изображение, чем те, что находятся вне поля его зрения. Предполагается, что объекты, отображаемые в середине экрана, важнее остальных и находятся в фокусе. Параметр фокуса объекта рассчитывается как отношение расстояния объекта до центра экрана к длине диагонали экрана.

Также функция выгоды использует гистерезис. Смена разных уровней детализации объектов в наборе кадров может вызвать неудобство для пользователя, а также снизить качество набора кадров. Поэтому значение данного параметра для объектов будет равно отношению количества полигонов уровня детализации к количеству полигонов уровня детализации объекта, отображаемого на сцене.

Функция стоимости – это оценка времени, необходимого для рендера объекта O с уровнем детализации L и алгоритмом рендеринга R . Реальное время рендера объектов сцены зависит от совокупности сложных факторов, например, технические характеристики используемого компьютера, разрешение экрана и др. Поэтому будет использоваться обобщенная модель рендеринга и несколько допущений, для того чтобы разработать приближенную функцию стоимости рендера объекта, которую можно применить к большому количеству компьютеров.

Предполагается, что время, необходимое для рендера, – это сумма времени, затраченного на каждую команду рендера, отправленную приложением. Также предполагается, что приложение отправляет команды рендеринга либо пополигонно, либо повершинно. Фактическое количество и тип команд, выполняемых для каждого полигона и для каждой вершины, зависят от используемого алгоритма рендера. В результате время, затрачиваемое на рендер объектов, рассчитывается как линейная комбинация количества полигонов и вершин объекта с коэффициентами, которые зависят от алгоритма рендеринга и используемого компьютера.

На основе определенных параметров для объектов сцены была составлена математическая модель задачи (формулы (1) и (2)):

$$L(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \text{Benefit}(x_i, L_j, R_j) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \text{Cost}(x_i, L_j, R_j) \leq d, \\ x_i \in \{0; 1\}, \forall k \in N_n, \end{cases} \quad (2)$$

где x_i – объекты сцены, L_j – уровень детализации, R_j – тип рендера, d – ограничение на время рендера объектов, n – число объектов, k – число уровней детализации объекта.

Функция *Benefit* и *Cost* представлены в формулах (3) и (4):

$$Benefit(O, L, R) = a_i b_i Size(O, L, R) + a_i b_i Accuracy(O, L, R) + \\ + a_i b_i Importance(O) + a_i b_i Focus(O) + a_i b_i Hysteresis(O), \quad (3)$$

$$Cost(O, L, R) = a_i b_i FPS(O, L, R), \quad (4)$$

где a_i – коэффициенты для настройки влияния параметра, b_i – коэффициенты для приведения факторов к одному порядку.

В данной задаче набор отображаемых на сцене объектов является рюкзаком, объекты и их уровни детализации – это предметы, которые нужно разместить в рюкзаке, целевое время рендера сцены – это размер рюкзака, а функции *Cost* и *Benefit* определяют стоимость и выгоду каждого предмета соответственно.

Проблема состоит в том, чтобы выбрать уровни детализации объектов, которые имеют максимальную выгоду, но чьи затраты укладываются в целевое время рендера сцены при условии, что может быть выбран только один уровень детализации для одного объекта.

Исходя из математической модели задачи был реализован приближённый жадный алгоритм, который выбирает уровни детализации объектов с наибольшим значением функции *Value* (5):

$$Value(O, L, R) = \frac{Benefit(O, L, R)}{Cost(O, L, R)}. \quad (5)$$

В набор отображаемых объектов добавляются объекты в порядке убывания значения *Value* до тех пор, пока не будет достигнута максимальная стоимость.

Кроме того, если к набору отображаемых объектов добавляется уровень детализации объекта, который уже добавлен в набор, то добавляется только уровень детализации с максимальной выгодой из двух.

Достоинства такого подхода можно объяснить тем, что каждый последующий кадр используется для рендеринга объектов с уровнем детализации с максимальной доступной ценой.

Логическая блок-схема алгоритма представлена на рисунке.

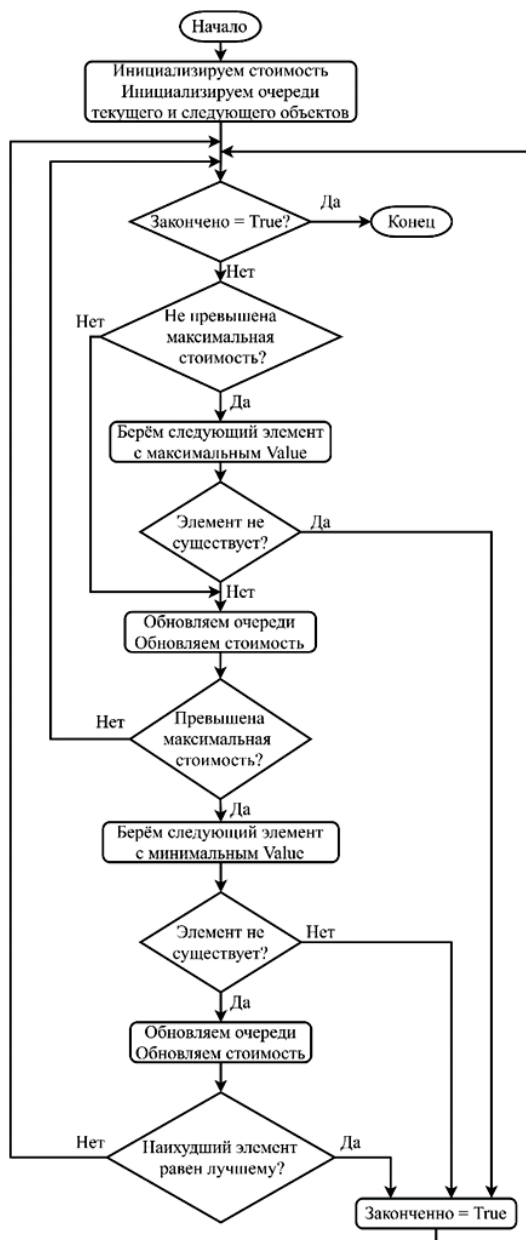


Рис. Логическая блок-схема работы алгоритма

В результате была составлена математическая модель задачи и разработан алгоритм, который позволит оптимизировать графическое наполнение сцены компьютерного тренажера для различных устройств с заданным уровнем производительности.

Библиографический список

1. Сергеев С.Ф. Эргономика иммерсивных сред: методология, теория, практика: дис. д-ра техн. наук. – СПб., 2010.

2. ANYCRANE: Towards a better Port Crane Simulator for Training Operators / R.A. Fayzrakhmanov, I.S. Polevshchikov, A.F. Khabibulin, F.I. Shklieriev, R.R. Fayzrakhmanov // 15th International industrial simulation conference. – 2017. – P. 85–87.

3. Магазин готовых решений Unity [Электронный ресурс]. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/modeling/runtime-lod-115472#description> (дата обращения: 11.05.2021).

2. Level of detail for 3D graphics / D. Luebke [et al]. – Morgan Kaufmann, 2003. – 416 p.

3. Mathematical optimization in computer graphics and vision / L. Velho [et al.]. – Morgan Kaufmann, 2011. – 304 p.

Сведения об авторах

Нагаев Артем Александрович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. РИС-19-1м, г. Пермь, e-mail: artemnagaev1997@gmail.com

Тютюных Артем Александрович – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: artbox1g@gmail.com

Л.Ю. Прозорова, С.А. Лобачев, В.В. Топоренко

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО МЕНЕДЖЕРА ПО СДАЧЕ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В АРЕНДУ

Рассмотрен процесс создания информационной системы (ИС) для работы агентства индивидуального предпринимателя, которая должна будет автоматизировать рабочее место менеджера и позволит вести оперативный учет объектов недвижимости, клиентов и результатов работы с ними. Это будет сокращать время на их поиск и обработку, позволит осуществить выборки по необходимым параметрам для создания итоговых отчетов и договоров с отправкой их в печать.

Ключевые слова: информационная система, индивидуальный предприниматель, аренда помещений, база данных, бизнес-проект.

L.Yu. Prozorova, S.A. Lobachev, V.V. Toporenko

AUTOMATED WORKPLACE OF THE MANAGER FOR RENTING OFFICE SPACES

This article describes the process of creating an information system (IS) for the work of an agency of an individual entrepreneur. The developed IS will have to automate the manager's workplace and allow to keep an operational record of real estate objects, clients and the results of work with them. This will reduce the time for their search and processing, will allow making selections according to the necessary parameters to create final reports and contracts with sending them to print.

Keywords: information system, individual entrepreneur, rental of premises, database, business project.

В нашей стране и в мире в целом идет сильное развитие информационных технологий. Людей, которые бы не использовали технические средства, персональные компьютеры и различные гаджеты, становится все меньше. Жизнь человека наполнена разнообразной информацией, и для её хранения, группирования и обработки нужно создавать разного рода хранилища.

Информационные системы (ИС) способны решать все задачи по хранению и обработке данных в какой-либо области, а также передаче, обновлению информации с использованием компьютерной или иной техники. Автоматизация деятельности человека охватывает какую-то часть окружающего его мира, которая в дальнейшем изучает-

ся, оценивается, проектируется в систему автоматизации и называется предметной областью. В итоге получается база данных с информацией этой предметной области.

Актуальность данной разработки информационной системы заключается в потребности минимизировать время по обработке входящей и выходящей информации.

Еще одним важным качеством использования АИС является безопасность хранения информации. При хранении информации на бумажных носителях потеря любого бумажного документа была бы необратимой. Такая потеря могла произойти как в результате действий злоумышленников, так и в результате иных факторов. При хранении информации в электронном виде известные нам методы обеспечения безопасности хранения информации и ее дублирования делают такое хранение абсолютно надежным.

Таким образом, можно выделить несколько основных преимуществ использования АИС для решения задачи создания системы учета аренды:

- удобный поиск и подготовка в печать договоров компании;
- быстрый поиск и отбор информации по клиентам и помещениям;
- обеспечение безопасности хранения информации;
- быстроты обслуживания клиента при создании договора.

Рассмотрим деятельность компании и увидим, что она относится к маленьким компаниям с небольшой организационной структурой. Структура ИП Лобачев представлена на рис. 1.

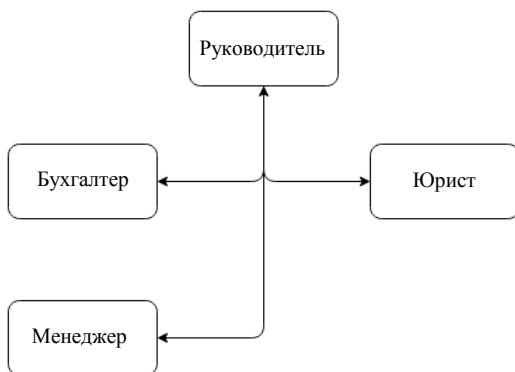


Рис. 1. Организационная структура предприятия

Анализ предметной области является одним из важнейших этапов проектирования информационной системы. На данном этапе, используя CASE-средство, поддерживающее методологию IDF0, надо описать бизнес-логику предметной области в формате реального времени и того, как будет после автоматизации. И, что немаловажно избегать ошибок, так как их наличие может дорого стоить на конечном этапе проекта.

Проанализировав диаграммы деятельности «как есть», отражающие существующее на момент обследования положение дел в организации, и отметив недостатки системы, можно переходить к разработке и проектированию будущей АИС*. Диаграмма деятельности «как должно быть» представлена на рис. 2.

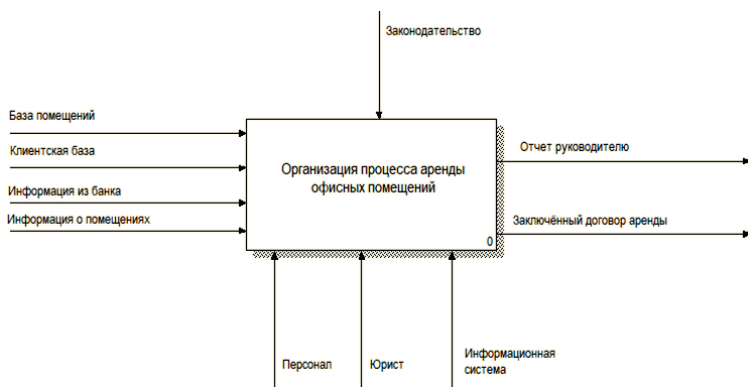


Рис. 2. Диаграмма бизнес-процесса

Проведя декомпозицию диаграмм на каждом этапе получим ясную картину всего процесса.

Следующим этапом создания АИС идет разработка информационной системы. Будут разработаны логическая и физическая модели базы данных, а также спроектирован интерфейс будущей информационной системы. На рис. 3 представлена логическая модель базы данных «Аренда».

При создании интерфейса важно учитывать удобство для пользователя. Разработать меню для перехода между формами и учитывать правильный шрифт и размер ячеек таблиц для легкого чтения

* Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 352 с.

информации. Формы, которые содержат списки клиентов и помещений, должны иметь опции редактирования и добавления новых данных, так как эта информация обычно часто меняется при смене телефона, адреса клиента или статуса арендуемого помещения.

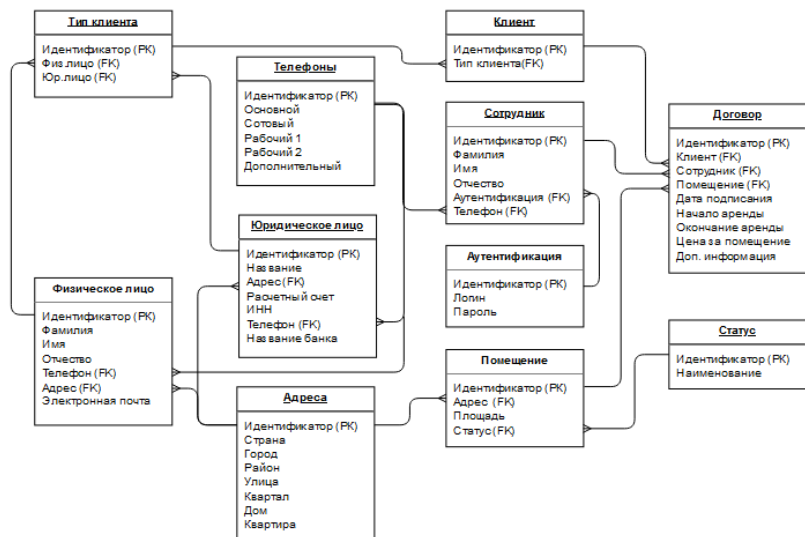


Рис. 3. Логическая модель базы данных

Одной из главных форм интерфейса можно назвать «Список договоров». Ведь именно договор является важным документом о заключении сделки аренды. Важно продумать функциональность данной формы, чтобы все нужные элементы были на своих местах (рис. 4).

Список договоров

№	ФИО	Адрес помещения	Площадь (м.кв.)	Цена(м.кв.)	Дата сделки	Дата окончания	Печать
3	Иванович Петр Леонидович	Пермь, ул. Пермская 30	120	60000	2019-12-01	2020-12-01	Договор
2	Поляков Александр Валерьевич	Пермь, ул.Островского 64	80	40000	2020-03-08	2022-03-08	Договор
1	Карпович Дмитрий Александрович	Пермь, ул. Островского 64	40	24000	2020-05-28	2021-05-28	Договор
4	Иванова Ольга Петровна	Пермь, ул.Уральская 95	60	36000	2019-08-01	2022-08-01	Договор
Создать договор							

Рис. 4. Форма списка договоров агентства

Код SQL запроса к базе данных по выводу договоров в форму представлен в листинге 1.

Листинг 1 – SQL запрос

```
SELECT id, name, adress_realty, size, price, data_reg, data_end
FROM contract, client, real
    WHERE client.id_client=contract.id_client
    AND realty.id_realty=contract.id_realty
GROUP BY id
```

Одним из немаловажных моментов при разработке интерфейса системы является создание раздела «Помощь» – инструкции для пользователя. Ведь все мы знаем, как бывает при покупке какого-то изделия в разобранном виде, – мы бы хотели прочитать инструкцию о её сборке. Так и при начале работы с ИС нужно это учитывать. В нашем случае она разработана в текстовом виде с картинками и находится в отдельном файле системы.

Когда информационная система пройдет все процессы разработки, её нужно будет протестировать на правильность выполнения задач автоматизации. И уже после этого, если нет ошибок, можно отправлять АИС для внедрения на предприятие.

Мы пытались показать все важные этапы создания информационной системы для рабочего места менеджера по сдаче офисных помещений в аренду. Была спроектирована система автоматизации, отвечающая всем требованиям заказчика.

Сведения об авторах

Прозорова Любовь Юрьевна – кандидат экономических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ljur@mail.ru

Лобачев Сергей Александрович – индивидуальный предприниматель, инженер, г. Пермь, e-mail: top2@go.ru

Топоренко Виталий Владимирович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. АСУ-16-1бз, г. Пермь, e-mail: permtopor@gmail.com

И.И. Сухих

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКА ВУЗА С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПРОГРАММ УНИВЕРСИТЕТА

Предполагается построение модели компетенций, которыми владеет выпускник по окончании обучения в вузе. Приводится результат анализа рабочих программ подготовки бакалавриата 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» Пермского национального исследовательского политехнического университета – головного вуза и Чайковского филиала. Демонстрируется работа по сбору информации из рабочих программ учебных заведений. Описываются дальнейшие перспективы развития представленной модели для получения более детального и развернутого анализа предметной области

Ключевые слова: модель компетенций, автоматизированная система, Python, SQLite, PyQT.

I.I. Sukhikh

BUILDING A COMPETENCE MODEL OF A UNIVERSITY GRADUATE WITH THE HELP OF AN AUTOMATED PROCESSING SYSTEM OF WORKING PROGRAMS OF THE UNIVERSITY

The work involves the construction of a model of competencies, which the graduate possesses upon completion of his studies at the university. The result of the analysis of working programs for the preparation of a bachelor's degree 09.03.01 Information science and computer technology of the Perm National Research Polytechnic University: the head university and the Tchaikovsky branch is presented. The work on collecting information from the working programs of educational institutions is demonstrated. Further prospects for the development of the presented model are described to obtain a more detailed and detailed analysis of the subject area.

Keywords: competency model, automated system, Python, SQLite, PyQT.

В настоящее время студент, получивший диплом о высшем образовании, может столкнуться с проблемой нехватки тех навыков, которые хотел бы видеть в потенциальном кандидате работодатель. Для преодоления существующего разрыва высшему образованию необходимо выйти на новый уровень в обучении молодых кадров. Как отмечает в своей работе Д.В. Яруллин, «развитие IT-отрасли и подготовка высококвалифицированных кадров является одним из

приоритетных направлений в экономике Российской Федерации» [1]. В связи с активным процессом развития цифровой экономики, а также автоматизации всех сервисов для потребителей возникает кадровый голод IT-компаний. При этом вузы не готовят IT-специалистов в таком количестве и качестве, какой требуется на рынке труда. Кадровый голод в малых и средних IT-компаниях связан с переизбытком специалистов низкого уровня, когда бизнесу нужны уровни middle или senior [2]. В связи с этим возникает необходимость анализа компетенций, получаемых студентом на протяжении учебы в вузе.

Для решения поставленной задачи, необходимо построить модель, которая систематизирует и структурирует набор тех компетенций, которыми студент должен овладеть за весь период подготовки молодого специалиста. В настоящем исследовании произведена попытка составить портрет молодого специалиста, его знаний, умений и навыков сразу после получения диплома бакалавра. Из рабочих программ извлекается тематическое наполнение, появляется возможность построения необходимой иерархической модели, которая бы наглядно отразила текущий портрет компетенций выпускника. В качестве направления для пилотного анализа выбран профиль «Автоматизированные системы обработки информации и управления», который готовит не только разработчиков автоматизированных и информационных систем, но и специалистов, тесно связанных с системным администрированием, системным анализом для промышленной разработки автоматизированных систем обработки информации и управления. Следовательно, выбранное направление затрагивает более широкий круг работодателей, заинтересованных в выпускнике текущего направления.

Источником рабочих программ для текущего, пилотного, исследования выбраны рабочие программы головного вуза и Чайковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

В качестве базовой единицы в разрабатываемой модели могут выступать разделы рабочей программы – тематическое наполнение и почасовое распределение, отведенное на тот или иной вопрос. Для примера можно использовать разделы из различных дисциплин головного вуза:

- функционирование основных подсистем операционных систем (ОС);

- основы процедурного программирования (программирование).
- современные СУБД и их применение (базы данных).

Каждый из перечисленных разделов, в свою очередь, содержит список тем, которые рассматриваются в соответствующем разделе:

- файловые системы, процессы и управление памятью (функционирование основных подсистем ОС).

- жизненный цикл ПО; общая характеристика системы MSDN; состав языка программирования высокого уровня; основные операторы; процедурно-ориентированная технология разработки программ (программирование);

- методы работы с языком SQL; восстановление и транзакции; знакомство с современной СУБД (Современные СУБД и их применение).

Таким образом, в результате исследования необходимо получить иерархическую модель компетенций. С помощью данного подхода есть возможность устанавливать как вертикальные, так и горизонтальные связи между элементами модели.

В ходе выполнения исследования решено разработать автоматизированную систему, которая будет накапливать, систематизировать и структурировать данные из рабочих программ. Для хранения полученных данных используется встраиваемая СУБД SQLite, а для разработки пользовательского интерфейса выбран язык программирования Python с использованием следующих библиотек:

- win-unicode-console – активация Unicode в консоли Windows.
- python-docx – работа с документами MS Office.
- pdfminer – структуризация PDF-файла.
- PyQt – разработка графического пользовательского интерфейса и работа с СУБД.
- PyQtChart – создание диаграмм в графическом пользовательском интерфейсе.

Разработанная база данных использует встраиваемую СУБД SQLite. Выбор данной СУБД обусловлен возможностью дальнейшего использования разрабатываемого приложения не только для направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», но и любых других направлений, нуждающихся в анализе компетенций. Внутри базы данных используется следующий набор таблиц:

- информация об университете: один из трех филиалов либо головной вуз.

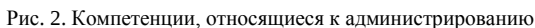
- информация о рабочей программе: наименование рабочей программы с привязкой к конкретному вузу;
- информация о темах занятий: наименование темы, количество часов, отведенных на лекции, практики, лабораторные работы и самостоятельную работу;
- информация о практических и лабораторных заданиях: наименование и привязка к теме, к которой относится то или иное практическое задание.

Для занесения данных в базу данных используется файл – служебный каталог, в котором размещены каталоги двух исследуемых учебных заведений, внутри которых находятся рабочие программы. Рабочие программы, используемые в исследовании, заимствованы с официальных сайтов учебных учреждений. При заполнении базы данных из каждого файла, которые находятся в соответствующем каталоге, выполняется выборка по следующим параметрам:

- производится поиск по ключевому слову «Модуль» или «Раздел», после чего в базу данных заносится текст до знака возврата каретки. Данный текст используется в качестве наименования раздела;
- сразу после наименования раздела в рабочих программах указано количество часов, отведенных на лекции, практики, лабораторные работы и самостоятельную работу студентов. Ключевыми маркерами для выборки информации являются «Л», «Лр», «ЛК» или «Лек» для лекций; «ПР» для практических работ; «ЛР» для лабораторных работ; «СРС» для самостоятельной работы студентов. После того, как маркер обнаружен происходит запись в базу данных о количестве часов, отведенных на раздел;
- после того, как наименование раздела и отведенные на него часы занесены, по ключевому слову «Тема» заносятся все темы, которые относятся к соответствующему разделу.

Завершающим этапом работы приложения будет построение диаграмм распределения времени по каждому из разделов. На экран выводится перечень выгруженных разделов из рабочих программ с отображением круговых диаграмм, которые в процентном соотношении отображают распределение всего времени на полученные разделы, в пределах одной дисциплины.

В итоге, используя всю информацию из разработанного приложения, строится модель компетенций выпускника, разделенная на три составляющих: разработка программного обеспечения (рис. 1), администрирование (рис. 2) и информационная безопасность (рис. 3).



122

технического университета. На основе имеющихся данных построена модель компетенций, которыми владеет выпускник. Приложение способно собирать данные из рабочих программ любых направлений и записывать данные как в новую базу данных, так и в уже имеющуюся.

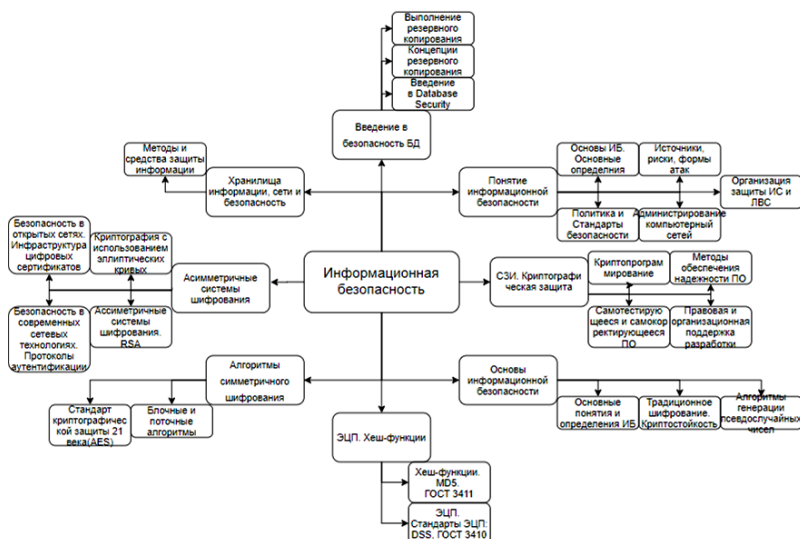


Рис. 3. Компетенции, относящиеся к информационной безопасности

Следующим этапом разработки планируется автоматическое построение модели и распределение компетенций на основе имеющихся данных, а также усложнение иерархии отношений внутри модели, после чего станет возможным исследование остальных направлений обучения.

Библиографический список

1. Яруллин Д.В. Автоматическое построение профессионального портрета IT-специалиста на основе текстов вакансий // Филология в XXI веке. – 2019. – №1. – С. 17–21.
2. Кадровый голод IT-компаний // КОММЕРСАНТЪ BUSINESS GUIDE. – 2019. – № 208. – С. 16.

Сведения об авторе

Сухих Илья Игоревич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ5-20-1м, г. Пермь, e-mail: vargoztelemax@gmail.com

И.А. Спиридонова, Н.Л. Шабанов

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЕБ-САЙТА «ПРАЗДНИК В КАЖДЫЙ ДОМ»

Рассматривается процесс формирования моделей данных информационной системы для применения в конкретной области создания веб-сайтов для удаленного взаимодействия клиентов и сотрудников предприятия по организации культурно-массовых мероприятий с детьми младшего и среднего возраста. Рассмотрены модели данных, включающие ряд признаков для формирования клиентом заказа на проведение мероприятия, а также разработка схем функциональности работы информационной системы для пользователей с различными правами доступа к изменению информации и структуры базы данных.

Ключевые слова: информационная система, база данных, концептуальная модель данных, логическая модель данных, физическая модель данных, фронт-офис, бэк-офис.

I.A. Spiridonova, N.L. Shabanov

DESIGN OF DATA MODELS TO THE INFORMATION SYSTEM OF THE WEBSITE “HOLIDAY TO EVERY HOME”

The article considers the process of forming data models of the information system for use in a specific area of creating websites for remote interaction between customers and employees of the enterprise for organizing cultural events with young and middle-aged children. Data models are considered, including a number of features for the client to form an order for an event, as well as the development of schemes for the functionality of the information system for users with different access rights to change information and the database structure.

Keywords: information system, database, conceptual data model, logical data model, physical data model, front office, back office.

Современный этап развития общества характеризуется бурным внедрением веб-технологий в жизнь обычного человека и в организацию деятельности самых различных предприятий. Одним из существенных направлений применения веб-сайтов является доступ к информации о работе предприятий, предоставляющих населению услуги по проведению тех или иных мероприятий. Широкое поле деятельности таких предприятий составляет организация праздников для детей.

Под руководством И.А. Спиридоновой созданием веб-сайта Н.Л. Шабановым для малого предприятия «Праздник в каждый дом», которое предоставляет услуги по организации детских праздников населению и организациям города в г. Новочеркасске, был проведен анализ ряда существующих веб-приложений в данной области и выявлен ряд особенностей их реализации, недостаточно использующих реальный спектр возможностей создания информационных систем, выполняющих не только рекламные функции, но и функции ведения служебной информации, полезной как клиентам при формировании заказа, так и сотрудникам предприятия при организации его выполнения.

Полноценная информационная система предполагает не столько прямое использование инструментальных средств ее реализации, т.е. многочисленных доступных в настоящее время конструкторов сайтов, сколько серьезную предварительную проработку структуры базы данных (БД) с использованием инструментария разработки моделей данных [1], таких как концептуальная, логическая и физическая модели данных, разработанные для данного проекта и приведенные соответственно на рис. 1–3.

На рис. 1 приведена концептуальная (инфологическая) модель данных основной части проекта, представленная в форме диаграммы «сущность-связь» (ER-диаграммы) [2]. На рис. 2 приведена соответствующая этой ER-диаграмме логическая модель данных [2], определяющая используемые в реляционной СУБД таблицы и связь между ними.

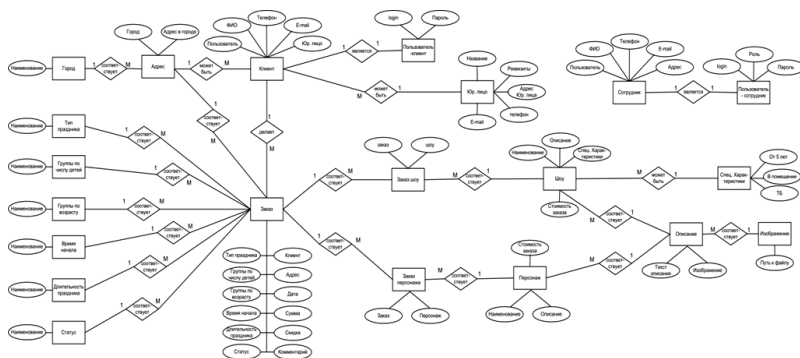


Рис. 1. Концептуальная модель данных

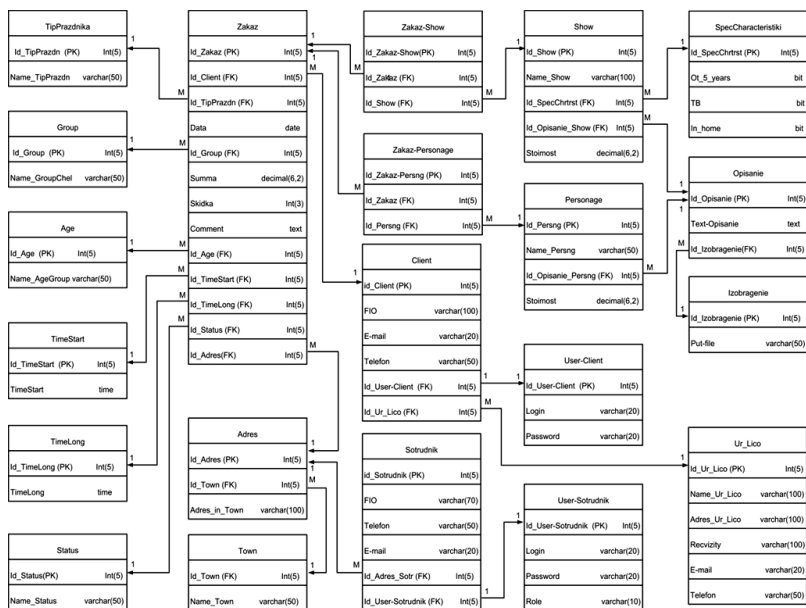


Рис. 3. Физическая модель данных

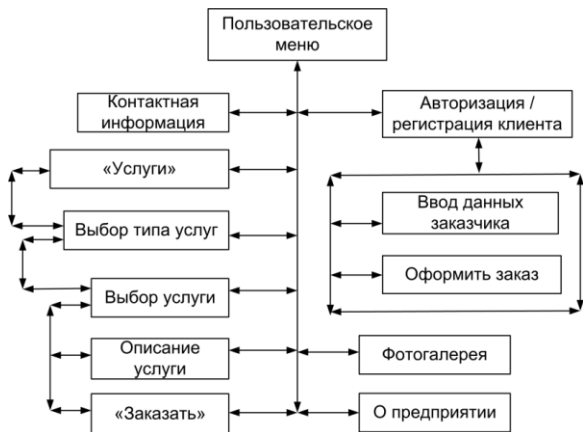


Рис. 4. Функциональность системы для пользователя фронт-офиса

Также при разработке информационной системы с веб-интерфейсов весьма существенной является проработка функциональности фронт-офиса и бэк-офиса, что требуется для разработки

и реализации элементов интерфейса системы в свободном доступе и для зарегистрированного клиента (фронт-офис), а также специальных функций для пользователя-сотрудника и пользователя с наивысшим приоритетом, т.е. администратора системы (бэк-офис).

Разработанные для проекта схемы функциональности фронт-офиса и бэк-офиса приведены соответственно на рис. 4 и 5. Можно отметить, что в целях соблюдения целостности данных БД удаление уже созданных экземпляров таблиц доступно лишь администратору информационной системы.



Рис. 5. Функциональность системы для пользователя бэк-офиса

Хотелось бы отметить, что разработка полноценной информационной системы с веб-интерфейсов представляет собой многоэтапный процесс, но обеспечивает гораздо более качественный результат, чем прямолинейное использование готовых конструкторов сайтов без серьезного анализа их возможностей и осмысленного применения в конкретной предметной области с учетом специфики деятельности предприятий, для которых сайты создаются.

Библиографический список

1. Волк В.К. Базы данных. Проектирование, программирование, управление и администрирование: учебник [Электронный ресурс]. – СПб.: Лань, 2020. – 244 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126933> (дата обращения: 10.05.2021).

2. ГОСТ 34.320-96. Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Концепции и терминология для концептуальной схемы и информационной базы: дата введения 2001-07-01. – М., 1996 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017661> (дата обращения: 15.05.2021).

Сведения об авторах

Спиридонова Ирина Артуровна – старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, e-mail: sia1706@yandex.ru

Шабанов Николай Леонидович – студент Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, гр. 090301-ПОВа-о20, г. Новочеркасск, e-mail: charlieend@yandex.ru

С.В. Кривошеев, К.О. Лукин

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ С ПОМОЩЬЮ MATLAB

Показан способ оценки точности работы индикаторного гиросtabilизатора с использованием компьютерного моделирования в среде MatLab/Simulink. Приведены линейные уравнения динамики индикаторного гиросtabilизатора, показана схема моделирования, а также сами результаты моделирования.

Ключевые слова: индикаторный гиросtabilизатор, имитационное моделирование, MatLab, спектральные характеристики.

S.V. Krivosheev, K.O. Lukin

INERTIALLY STABILIZED PLATFORM SIMULATION AND PERFORMANCE ACCURACY ESTIMATION

In the present report an accuracy estimation method of inertially stabilized platform (ISP) performance using MatLab/Simulink simulation modeling is shown. Linear equations of ISP, modeling scheme, and the results are also demonstrated.

Keywords: inertially stabilized platform, simulation modelling, MatLab, spectral characteristics.

Рынок гироскопических стабилизаторов (ГС) растёт довольно быстро за счёт увеличения разнообразия технологий гироскопов и удешевления производства. Гиросtabilизаторы все чаще находят своё применение и на массовом рынке в виде стабилизаторов камер. Однако до сих пор гиросtabilизаторы остаются слишком дорогими и сложными устройствами, чтобы их разработка производилась на основе предыдущего опыта или методом проб и ошибок. Математическое моделирование разработанного гиросtabilизатора позволяет оценить точность прибора, исходя из данных о расчётных условиях эксплуатации, что может сохранить финансовые ресурсы. Расчёт по наихудшему сценарию, часто применяемый при синтезе основных контуров гиросtabilизаторов, бывает слишком груб и не может дать статистических характеристик точности.

Так, при проектировании индикаторного ГС для использования в малогабаритном путеизмерителе [1] авторами был применён способ

компьютерного моделирования, при котором производится имитационное моделирование системы, на входы которой подаются случайные воздействия с заданными спектральными характеристиками, а с выходного сигнала снимаются спектральные характеристики. При достаточно длительном моделировании после затухания всех переходных процессов в системе среднее квадратическое отклонение практически перестаёт изменяться и может считаться показателем точности работы системы.

Параметры рассматриваемого индикаторного ГС приведены в таблице.

Параметры гиросtabilизатора

Обозначение	Описание	Значение
J_x	Момент инерции гироскопа по оси подвеса наружной рамки	$1,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
J_z	Момент инерции гироскопа по оси подвеса внутренней рамки	$1,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
J_{Π}	Момент инерции платформы по оси подвеса	$1,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
H	Кинетический момент гироскопа	0,05 Нмс
L_a	Индуктивность якоря мотора арретирования	0,01 Гн
L_k	Индуктивность ротора мотора коррекции	0,01 Гн
L_c	Индуктивность ротора мотора стабилизации	0,01 Гн
R_a	Активное сопротивление якоря двигателя арретирования	50 Ом
R_k	Активное сопротивление якоря двигателя коррекции	50 Ом
R_c	Активное сопротивление якоря двигателя стабилизации	18 Ом
C_m^a, C_e^a	Коэффициент момента и противо-эдс двигателя арретирования	0,05 Нм/А (В·с/рад)
C_m^k, C_e^k	Коэффициент момента и противо-эдс двигателя коррекции	0,05 Нм/А (В·с/рад)
C_m^c, C_e^c	Коэффициент момента и противо-эдс двигателя стабилизации	0,11 Нм/А (В·с/рад)
$k_{\text{дy}}^a, k_{\text{y}}^a$	Коэффициент передачи датчика угла и усилителя арретирования	100 В/рад
$k_{\text{дy}}^k, k_{\text{y}}^k$	Коэффициент передачи датчика угла и усилителя коррекции	30 В/рад
$k_{\text{дy}}^c, k_{\text{y}}^c$	Коэффициент передачи датчика угла и усилителя стабилизации	$3,9 \cdot 10^3 \text{ В/рад}$
k_d	Коэффициент дифференцирующего звена контура стабилизации	50 В·с/рад

Одноосный индикаторный ГС представляет собой управляемую по сигналу трёхстепенного гироскопа платформу. Гироскоп корректируется маятниковым чувствительным элементом (МЧЭ), чья динамика не рассматривается в докладе. Математическая модель гиростабилизатора может быть описана [2] уравнениями контуров стабилизации (1)–(2), коррекции (3)–(4) и арретирования (5)–(6)

$$-J_{\Pi}\ddot{\xi} + C_M^c i_c + M_B^n = 0; \quad (1)$$

$$L_c \frac{di_c}{dt} + R_k i_c + C_e^c \dot{\alpha} = k_{\text{дy}}^c k_y^c (\xi - \alpha); \quad (2)$$

$$-J_z \ddot{\beta} - H \dot{\alpha} + C_M^K i_K + M_B^z = 0; \quad (3)$$

$$L_K \frac{di_K}{dt} + R_K i_K + C_e^K \dot{\beta} = k_{\text{дy}}^K k_y^K (\alpha_0 - \xi); \quad (4)$$

$$-J_x \ddot{\alpha} + H \dot{\beta} + C_M^a i_a + M_B^x = 0; \quad (5)$$

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + C_e^a (\dot{\alpha} - \dot{\xi}) = k_{\text{дy}}^a k_y^a \beta, \quad (6)$$

где α – угол отклонения наружной рамки гироскопа относительно местного горизонта; β – угол прецессии гироскопа; ξ – угол отклонения платформы относительно местного горизонта; α_0 – угол МЧЭ; i_K, i_a, i_c – ток в якоре двигателей коррекции, арретирования и стабилизации соответственно; M_B^x, M_B^z, M_B^n – возмущающие моменты по осям подвеса наружной и внутренней рамок гироскопа, а также по оси платформы соответственно.

Возмущения системы моделируются с помощью формирующих фильтров [3], на которые подаётся белый шум. Для M_B^n дисперсия выбирается из того предположения, что на интервале 2σ выполняется неравенство $M_B^n \leq 0,007$ Нм, а основные колебания расположены в диапазоне от 1 до 5 Гц, тогда спектральная плотность и формирующий фильтр будут записаны следующим образом, $\text{Н}^2 \text{м}^2 / \text{с}^{-1}$:

$$S_M(\omega) = \frac{4(0,007/2)^2 \cdot 5\omega^2}{\omega^4 + 2(25-1)\omega^2 + (25+1)^2}, \quad (7)$$

$$W_{\phi\phi1} = \frac{0,1p}{p^2 + 4p + 991}. \quad (8)$$

Аналогично можно записать формулы (9) и (10) для сигнала МЧЭ.

$$S_m(\omega) = \frac{4(0,035/2)^2 \cdot 4\omega^2}{\omega^4 + 2(4-25)\omega^2 + (4+25)^2}, \quad (9)$$

$$W_{\phi\phi2} = \frac{0,015p}{p^2 + 10p + 64,48}, \quad (10)$$

для момента от галопирования вагона – формулы (11) и (12)

$$S_m(\omega) = \frac{4(0,015/2)^2 \cdot 6\omega^2}{\omega^4 + 2(36-9)\omega^2 + (36+9)^2}, \quad (11)$$

$$W_{\phi\phi4} = \frac{7,2 \cdot 10^{-3}p}{p^2 + 12p + 391,3}. \quad (12)$$

Спектральная плотность (13) момента дрейфа [4] и передаточная функция формирующего фильтра (14) описаны формулой

$$S_m(\omega) = \frac{4(2,9 \cdot 10^{-5}/3)^2 \cdot 6\omega^2}{1 + \omega^2}, \quad (13)$$

$$W_{\phi\phi4} = \frac{9,7 \cdot 10^{-6}p}{p + 1}. \quad (14)$$

Спектральные плотности по формулам (7), (9), (11), (13) приведены на рис. 1.

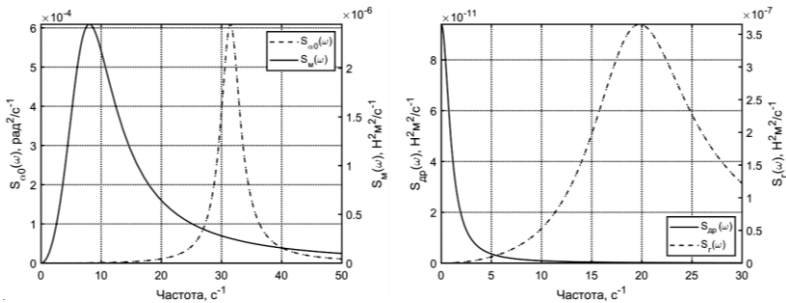


Рис. 1. Структурная схема индикаторного ГС

Систему уравнений (1)–(6) и модели возмущающих воздействий можно представить в виде структурной схемы на рис. 2, по которой собирается схема в программе MatLab/Simulink. На рис. 2 блоком «ТР» обозначена нелинейная модель трения Кулона, блок «БШ» означает источник белого шума.

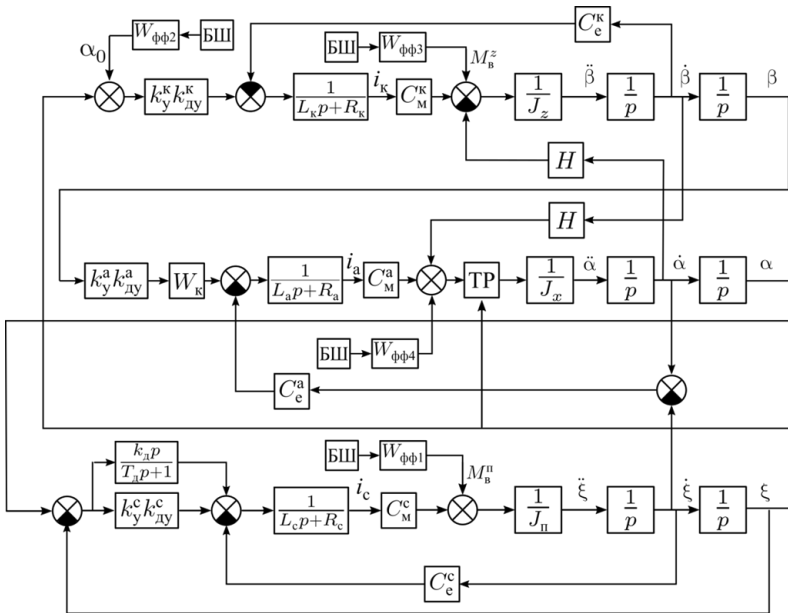


Рис. 2. Структурная схема индикаторного ГС

Результаты моделирования показаны на рис. 3.

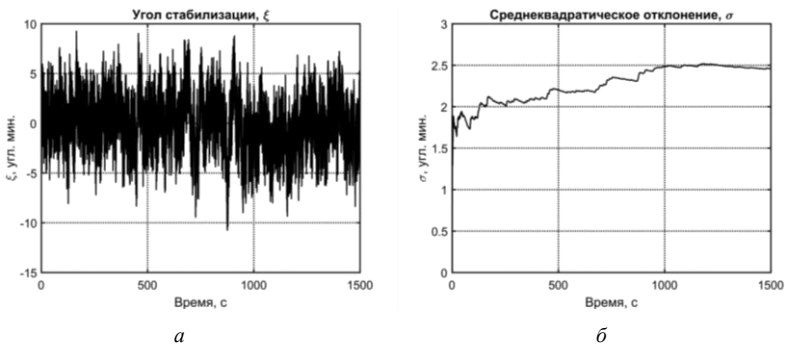


Рис. 3. График угла ξ (а) и среднеквадратического отклонения ξ (б)

При достаточно продолжительном моделировании среднеквадратическое отклонение угла стабилизации ξ устанавливается у значения 2,5 угловых минут. Отсюда можем заключить, что при заданных условиях эксплуатации точность стабилизации составляет 2,5 угл. мин (1σ).

Моделирование работы гироскопических устройств позволяет определить параметры работы проектируемых приборов ещё до их сборки. При этом показанный метод, в отличие от моделирования на каком-то определённом режиме работы, позволяет получить статистически точностные характеристики.

Библиографический список

1. Кривошеев С.В., Лукин К.О. Решение о выдаче патента на изобретение «Одноосный индикаторный горизонтальный гиростабилизатор» от 26.05.2021 / по заявке №2020137620/28(069517).
2. Бесекерский В.А., Фабрикант Е.А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации. – Л.: Судостроение, 1968. – 384 с.
3. Теория автоматического управления: в 3 кн. / под ред. д-ра техн. наук, проф. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1968. – Кн. 3. ч. II – 608 с.
4. Ривкин С.С. Теория гироскопических устройств.– Л.: Судпромгиз, 1962. – Ч. 1. – 508 с.

Сведения об авторах

Кривошеев Сергей Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и управление» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань, e-mail: ksv-ap2-au-kai@mail.ru

Лукин Кирилл Олегович – магистрант Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева–КАИ, гр. 3198, г. Казань, e-mail: Kirill.O.Lukin@yandex.ru

А.В. Клепцин, М.К. Баталов, В.С. Никулин

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАЙН-ФУНКЦИЙ

Статья посвящена разработке и анализу современных дистанционных способов управления напряжением источника питания, позволяющих улучшить точностные характеристики при помощи регулирования выходного напряжения на основе разработанных алгоритмов масштабирования сплайн-функций с использованием применения обратной связи, где в качестве способа управления используется веб-интерфейс.

Ключевые слова: объект, управление, модель, регулятор, оптопара, интерполяция, сплайн-функция, веб-интерфейс, масштабирование.

A.V. Kleptcin, M.K. Batalov, V.S. Nikulin

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CONTROLLING A SECONDARY POWER SUPPLY USING SPLINE FUNCTIONS

The article is devoted to the development and analysis of modern remote control methods of the power supply voltage, allowing to improve the accuracy characteristics by regulating the output voltage based on the developed algorithms for scaling interpolation polynomials using feedback, where the web interface is used as a control method.

Keywords: object, control, model, controller, optocoupler, interpolation, spline-function, web-Interface, scaling.

В современном мире актуальным является вопрос дистанционного управления напряжением источника питания с заданными точностными характеристиками. Дистанционное управление источником питания позволяет обезопасить и оградить человека от непосредственного контакта с электрооборудованием, а также сохранить за человеком возможность управления различными процессами. Также стоит отметить, что в большинстве случаев современная РЭА (радиоэлектронная аппаратура) и приборы медицинской техники требуют для своей работы высокостабильного постоянного напряжения питания с малым коэффициентом пульсации и большим диапазоном изменений входного напряжения. Позволяет регулировать выходное

напряжение с заданной точностью. В ходе исследования были использованы два алгоритма коррекции сплайн-функций [1] – половинное деление и алгоритм умножения на коэффициент, пропорциональный крутости заданной характеристики, полученный из производной отдельного участка (сплайна).

Работа посвящена разработке схемы-регулятора на LM317, позволяющей получать стабилизированное выходное напряжение в широком диапазоне от 1,25 до 20 В, и силой тока до 1,5 А, с использованием широтно-импульсной модуляции, обмену данными между ESP32 и измерительными приборами по протоколу RS232 [2] и созданию веб-интерфейса для удобного удаленного управления.

Достоинствами схемы-регулятора перед аналогичными схемами являются простота реализации, высокая точность выходного напряжения и возможность дистанционного управления.

Постановка задачи. В работе предлагаются способы масштабирования интерполяционных кусочных функций. Новым в алгоритмах масштабирования является использование обратной связи для корректировки заданной характеристики в соответствии с желаемой точностью.

Благодаря применению обратной связи для самокорректировки заданной характеристики мы не привязаны к конкретным моделям оптрона и иных оптоэлектронных компонентов – достаточно один раз составить общую характеристику для одного типа устройств, а разработанные алгоритмы масштабирования самостоятельно выполняют корректировку под конкретную модель. Преимуществом такого подхода является высокая гибкость: отсутствие необходимости в ручной настройке и составлении характеристик для конкретной модели позволяет избежать траты времени на расчет того, что можно выполнить в автоматическом режиме.

Основная часть. Рассмотрим предлагаемые алгоритмы масштабирования интерполяционных полиномов для построения адаптивного регулятора.

Для управления адаптивным регулятором используется веб-интерфейс, в котором задана приближенная табличная характеристика светодиода. Задавая желаемую погрешность между реальными значениями, полученными от микроконтроллера [3–7], и значениями, рассчитан при помощи сплайн-функций, перестраивается приближенная характеристика светодиода, корректируя ее под конкретный

светодиод. Таким образом, вольтамперные характеристики светодиода [8], находящегося в цепи обратной связи адаптивного регулятора напряжения, при помощи алгоритмов подстройки будут корректироваться под него.

При масштабировании интерполяционного полинома использовались два алгоритма – алгоритм половинного деления и алгоритм умножения на коэффициент пропорциональный крутости заданной характеристики.

На рис. 1 и 2 представлены блок-схемы алгоритмов масштабирования интерполяционного полинома.

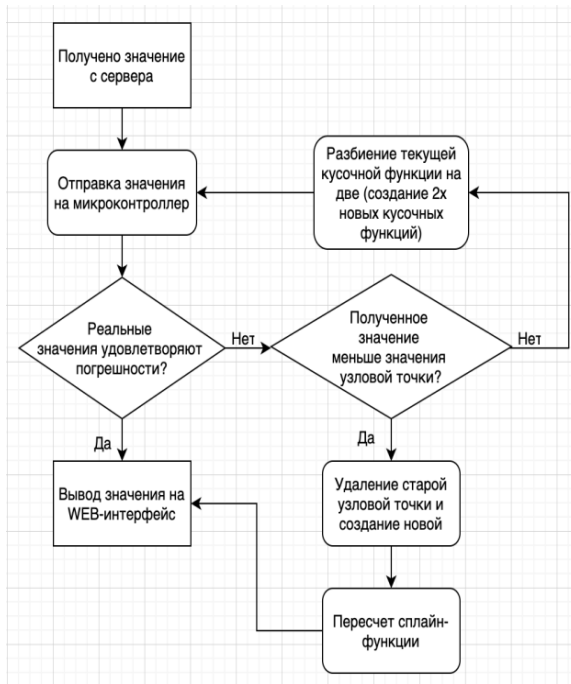


Рис. 1. Блок-схема алгоритма половинного деления

Недостатком алгоритма половинного деления является то, что он требует больше времени на нахождение значения, удовлетворяющего заданной погрешности при крутых положениях на ВАХ, однако на линейных участках его точность и скорость работы превышают аналогичные показатели второго алгоритма.

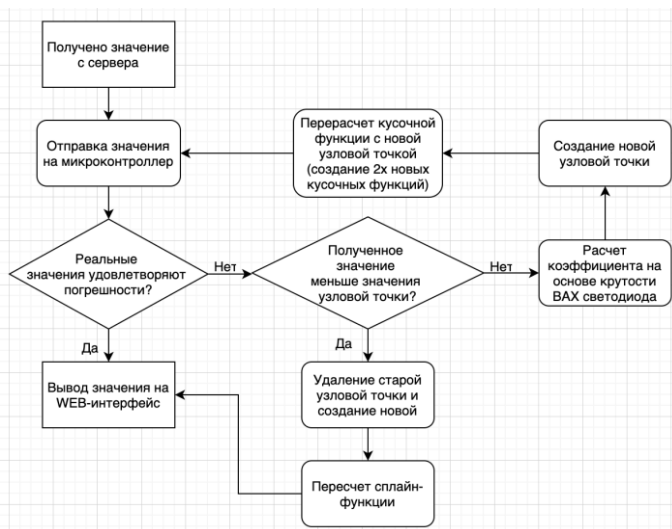


Рис. 2. Блок-схема алгоритма умножения на коэффициент пропорциональный крутости заданной характеристики

Постановка эксперимента. Для сравнения двух алгоритмов на практике нами был разработан стенд [9], схема которого представлена на рис. 3.

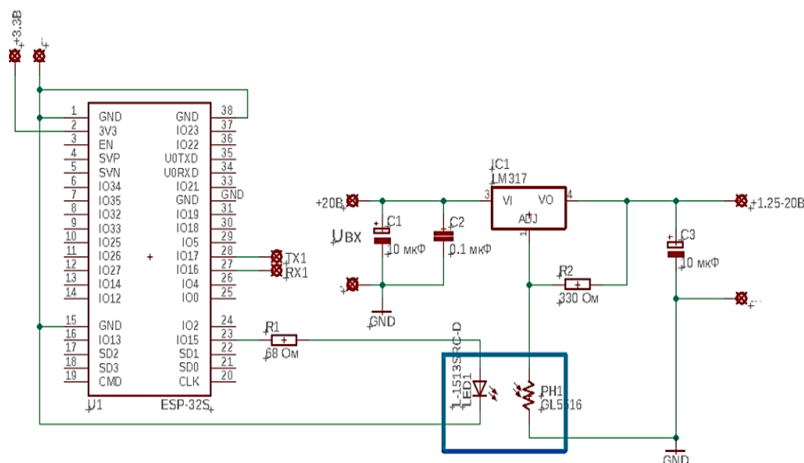


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная управления выходным напряжением стабилизатора LM317 и реализацией обмена данными по протоколу RS232

Микроконтроллер [10–12] подает управляющее напряжение, которое было получено с веб-интерфейса, на оптопару, которая состоит из светодиода и фоторезистора, находящихся в цепи управления стабилизатора напряжения LM317. На вход стабилизатора подается постоянное напряжение 20 В от внешнего источника питания. Изменяя сопротивление фоторезистора в цепи управления, на выходе стабилизатора напряжение меняется в диапазоне от 1,25 до 20 В.

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик алгоритма половинного деления и алгоритма с коэффициентом на линейном участке

Название алгоритма	Заданное напряжение $U_{вх}$, В	$U_{вых}$, В	Время получения оптимального значения t , с	Количество итераций пересчета, ед.	Заданная точность, В
Алгоритм половинного деления	15	14,9	125	57	0,1
Алгоритм умножения на коэффициент пропорциональный крутости заданной характеристики	15	15,0	79	24	0,1

При сравнении двух переходных процессов, при одинаково заданных точности и напряжении, получено разное время (125 и 79 с) для нахождения значения выходного напряжения, на линейном участке алгоритм с половинным делением потребовал большее количество итераций пересчета (табл. 1).

Таблица 2

Сравнительная таблица характеристик алгоритма половинного деления и алгоритма с коэффициентом на нелинейном участке

Название алгоритма	Заданное напряжение $U_{вх}$, В	$U_{вых}$, В	Время получения оптимального значения t , с	Количество итераций пересчета	Заданная точность, В
Алгоритм половинного деления	5	5,1	17,6	7	0,1
Алгоритм умножения на коэффициент пропорциональный крутости заданной характеристики	5	5,0	19	10	0,1

В результате сравнения двух переходных процессов при одинаково заданных точностях и напряжениях получено разное время (17,6 и 19 с) для нахождения наилучшего значения выходного напряжения; на нелинейном участке алгоритм с половинным делением потребовал меньшего количества итераций пересчета (табл. 2).

Из вышесказанного можно сделать вывод, что наилучшим алгоритмом масштабирования для анализа нелинейных участков является алгоритм умножения на коэффициент, пропорциональный крутости заданной характеристики, а для линейных – алгоритм с половинным делением.

Заключение. В результате было собрано устройство, позволяющее регулировать напряжение на выходе линейного стабилизатора LM317 на основе оптопары. Благодаря использованию интерполяции были составлены несколько сплайн-функций, высокоточно задающих значение таймера-счетчика ШИМ. Получившееся устройство позволяет регулировать напряжение источника постоянного тока с применением дистанционной технологии Wi-Fi за счет применения ESP32. Применение разработанных алгоритмов масштабирования интерполяционных полиномов предоставляет гибкую подстройку практически под любой фотоэлемент. Использование алгоритмов самокорректировки в зависимости от участка заданной характеристики позволяет быстро и эффективно получать результат.

Алгоритм половинного деления на нелинейном участке справляется за 17,6 с и 7 итераций и это лучше, чем алгоритм умножения на коэффициент пропорциональный крутости заданной характеристики, его показатели 19 с и 10 итераций.

На линейном участке количество итераций алгоритма умножения на коэффициент, пропорциональный крутости заданной характеристики, составляет 79 с и 24 итерации, а требуемое время для корректировки коэффициентов полиномов различается практически в два раза: у алгоритма половинного деления 125 с и 57 итераций.

Библиографический список

1. Малоземов В.Н., Певный А.Б. Полиномиальные сплайны: учеб. пособие. – Л.:1986. – 120 с.
2. Кузьминов А.Ю., Малоземов В.Н. Сопряжение ПК и внешних устройств на базе микроконтроллера по интерфейсу RS232: отдельное издание. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 320 с.

3. Страуструп Б. Язык программирования C++: отдельное издание. – М.: Бином, 2017. – 1136 с.
4. Скотт М. Эффективный и современный C++: 42 рекомендации по использованию C++11 и C++14: отдельное издание. – Екатеринбург: Вильямс, 2019. – 304 с.
5. Кузин А.В., Чумакова Е.В. Программирование на языке Си: учеб. пособие: учеб. пособие. – М.: Инфа-М, 2015. – 143 с.
6. Chrns Си для встраиваемых систем: отдельное издание. – Екатеринбург: Издательские решения, 2018. – 294 с.
7. Александреску А. Современное проектирование на C++: отдельное издание. – Екатеринбург: Вильямс, 2019. – 336 с.
8. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие. – М.: Лань, 2011. – 544 с.
9. Лопаткин А.В. Проектирование печатных плат в Altium Designer: учеб. пособие. – М.: ДМК-Пресс, 2017. – 554 с.
10. Магда Ю.С. Программирование и отладка C/C++ приложений для микроконтроллеров ARM. – М.: ДМК-Пресс, 2017. – 168 с.
11. Флэнаган Дэвид JavaScript. Полное руководство: отдельное изд. – Екатеринбург: Диалектика-Вильямс, 2021. – 720 с.
12. Дронов В. JavaScript и AJAX в веб-дизайне. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012, – 736 с.

Сведения об авторах

Клеппин Алексей Васильевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kvs2060@gmail.com

Баталов Михаил Константинович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: limecompro@gmail.com

Никулин Вячеслав Сергеевич – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kalif23@yandex.ru

Ю.Ф. Рубцов, А.В. Сергеев, А.В. Поляков

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО
ИНЖЕНЕРА СЛУЖБЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ,
АВТОМАТИКИ И ИСПЫТАНИЙ**

Исследуются методы проектирования автоматизированного рабочего места инженера службы релейной защиты, автоматики и испытаний (АРМ РЗАиИ), рассмотрены основной функционал и требования к техническому и программному обеспечению на участке промплощадки Березниковского калийного производственного рудоуправления.

Ключевые слова: автоматизированное рабочее место, инженер службы, программное обеспечение.

Yu.F. Rubtsov, A.V. Sergeev, A.V. Polyakov

**AUTOMATED WORKPLACE OF THE ENGINEER
OF THE SERVICE OF RELAY PROTECTION, AUTOMATION
AND HIGH-VOLTAGE TESTS**

In this article explores the possibility of designing an automated workplace for an engineer of the relay protection, automation and testing service, considers the main functionality and requirements for technical and software.

Keywords: automated workplace, service engineer, software.

На предприятии Березниковского калийного рудоуправления № 4 (БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий») в современных системах электро-снабжения жизненно важно стремление максимально автоматизировать существующие производственные процессы. Существующие условия современного производства требуют внедрения в технологию электроснабжения и контроля производственных участков микропроцессорных реле с возможностью их подключения к различным сетям автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУ ТП). При этом отсутствуют автоматизированный сбор информации и формирование базы данных, что повышает трудоёмкость последующего сбора и использования информации инженерно-техническим персоналом, задействованным в обслуживании релейной защиты, автоматики и испытаний.

Традиционный способ хранения информации на бумажных носителях тормозит ход производственных процессов, что затрудняет быстрое нахождение и отбор нужной информации и документов. Поэтому разработка и внедрение АРМ РЗАиИ позволит автоматизировать производственные процессы по обслуживанию оборудования релейной защиты, анализировать аварийные режимы работы системы электроснабжения и создать базу данных, что является актуальной задачей для предприятия БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий».

Цели и задачи АРМ РЗАиИ.

Конкретными целями автоматизированного рабочего места инженера РЗАиИ являются:

- повышение эксплуатационных характеристик и надёжности работы технологического оборудования;
- повышение уровня безаварийного функционирования технологического процесса за счёт применения высоконадёжной системы противоаварийной защиты;
- повышение уровня автоматизации средств учёта, анализа количества аварийных событий с помощью вновь сформированной базы данных (БД);
- оперативный поиск информации о ремонтных работах оборудования и объектов энергоснабжения.

Внедрение АРМ РЗАиИ на участке релейной защиты, автоматики и испытаний даст не только удобство и быстроту поиска информации и оформления документов, но и поднимет эффективность работы инженерно-технического персонала на принципиально новый уровень, предоставляя функции, ранее недоступные. Прежде всего, это касается подсистемы аналитической информации. Ранее, при использовании системы бумажного учёта, получить информацию о проведённых работах можно было, только подняв всю документацию. С внедрением АРМ РЗАиИ на участке релейной защиты, автоматики и испытаний поиск и хранение информации в базе данных станет гораздо более быстрым и доступным. Кроме того, можно получать дополнительно аналитические отчёты при использовании автоматизированной информационной системы предприятия.

В системе АСУ ТП системы электроснабжения БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий» для обмена информации используется протокол связи МЭК61850.

Аппаратная база релейной защиты и противоаварийной автоматики системы электроснабжения БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий»:

- электромеханические реле;
- электростатические реле;
- микропроцессорные реле и устройства противоаварийной автоматики.

И если электромеханические и электростатические реле не являются устройствами, совместимыми с АСУ ТП, то микропроцессорные реле и устройства противоаварийной автоматики (ПАА) предназначены для совместной работы с АСУТП. Для релейной защиты, автоматики и испытаний на объекте используются микропроцессорные реле фирм:

- SIEMENS – реле серии SIPROTEC;
- Schneider Electric – реле серии SEPAM 1000+;
- «ЭКРА» – реле БЭ2704;
- «Релематика» – реле TOP 200-16.

Все вышеперечисленные реле могут использовать протокол связи МЭК61850.

Для разработки АРМ РЗАиИ использовались программные продукты:

- для реле серии SIPROTEC4 – DIGSI4;
- реле серии SEPAM 1000+ – SFT2841;
- реле БЭ2704 – EkraSMS;
- реле TOP 200-16 – Micra;
- просмотра осциллограмм аварийных режимов одно из следующих решений – SIGRA, BSCOPE, Waves, Wavewin;
- расчёта уставок – программный продукт PSC;
- просмотра состояния коммутационных аппаратов и архивов сообщений – Scada-система.

Анализ поставленных задач приводит к выводу, что их решение традиционными средствами учёта с использованием бумажных документов неэффективно. Прежде всего такой вывод следует из анализа количества операций при анализе аварийных событий и получении информации, актуальных данных об устройствах и объектах электроснабжения. Также очень трудно хранить информацию о проведённых ремонтных работах за последние 2 цикла технического обслуживания (для различных устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики интервал может составлять до 24 лет) и осуществлять ее поиск.

Однако использование программно-технического комплекса на участке релейной защиты и испытаний даёт не только удобство и быстроту поиска информации и оформления документов, но и поднимает эффективность работы на принципиально новый уровень, предоставляя функции, ранее недоступные инженеру участка релейной защиты, автоматики и испытаний. Прежде всего это касается подсистемы аналитической информации.

При разработке АРМ РЗАиИ необходимо выявить перечень основного функционала автоматизированного рабочего места инженера службы релейной защиты, автоматики и испытаний. Основные функции:

- ведение и учёт выполненных работ и написанных протоколов;
- удалённое подключение к микропроцессорным реле через различные сетевые протоколы;
- анализ аварийных режимов электроснабжения объектов предприятия;
- анализ и расчёт уставок в микропроцессорных реле,
- выведение мнемосхем с информацией о состоянии главной схемы.

В процессе разработки АРМ РЗАиИ были определены минимальные требования к программно-техническому комплексу.

1. Минимальные требования к оборудованию:

- центральный процессор Intel Core i3;
- оперативная память 8 Гб;
- интегрированная видеокарта;
- две сетевых карты с минимальной скоростью подключения 100 Мб;
- SSD накопитель для установки операционной системы и программного обеспечения (ПО), 250 Гб;
- инчестер для электронного архива документации, 1 Тб.

2. Требования к программному обеспечению:

- операционная система семейства Microsoft Windows 10 Pro;
- офисный пакет Microsoft office 2016;
- Scada-система (WinCC);
- ПО для дистанционного подключения (Digsi, SFT2841, Микра, и т.д.);
- ПО для просмотра осциллограмм аварийных режимов (Siga, WaveWin);

- ПО для просмотра схем (Компас, AutoCAD);
- ПО для расчёта уставок (PSC, ТКЗ-300 и т.д.).

Оснащение программным обеспечением участка РЗАиИ позволит повысить оперативность принятия решений, сократив время на поиск и обработку информации, проведение расчётов и составление отчётов. Внедрение средств автоматизации снизит количество ошибок, связанных с «человеческим фактором». Новизна предлагаемых решений в АРМ РЗАиИ для участка релейной защиты, автоматики и испытаний заключается в возможности производить мониторинг, анализ причин аварий, просмотр и редактирование параметров, уставок микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики, установленных на объекте.

Разработка и внедрение АРМ РЗАиИ предлагается как система достижения целей автоматизации процессов, выполняемых инженером участка релейной защиты, автоматики и испытаний на БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий».

Сведения об авторах

Рубцов Юрий Федорович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: rehino@permlink.ru

Сергеев Александр Васильевич – начальник службы РЗАиИ Березниковского филиала АО «Энергосервис», г. Березники, e-mail: Sergeev_A@eserviceber.ru

Поляков Александр Валерьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-16-1бз, г. Березники, e-mail: Polyakov_A@eserviceber.ru

А.А. Манилкин, А.Н. Рагозин

**ПОСТРОЕНИЕ ОДНОКОМПОНЕНТНОГО ПРОГНОЗА
И ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА СИГНАЛА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА
ЛИНЕЙНОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ**

Рассмотрен метод построения однокомпонентного прогноза и доверительного интервала прогноза сигнала с использованием фильтра линейного предсказания. Для выделения слаженной прогнозируемой компоненты сигнала применяется предварительная цифровая обработка сигнала с использованием фильтра нижних частот (ФНЧ) и дециматора. Установлена зависимость между дальностью прогнозирования сигнала и шириной доверительного интервала сформированного прогноза.

Ключевые слова: однокомпонентный прогноз, фильтр линейного предсказания, система управления технологическими процессами.

A.A. Manilkin, A.N. Ragozin

**CONSTRUCTION OF ONE-COMPONENT PREDICTION
AND CONFIDENCE INTERVAL OF A SIGNAL USING
A DIGITAL LINEAR PREDICTION FILTER**

Method for construction of one-component prediction and confidence interval of a signal using a digital linear prediction filter is considered. LPF and decimator were used for making prediction component. The dependence between the signal prediction range and the width of the confidence interval of the generated forecast is established.

Keywords: one-component prediction, linear prediction filter, process control system.

Внедрение автоматических систем управления технологическими процессами значительно упростило осуществление контроля за производственными процессами, а также состоянием оборудования. Однако подобные системы способны лишь информировать о текущем состоянии технологического процесса, а для принятия своевременных решений необходимо осуществлять прогнозирование наблюдаемых сигналов, получаемых с различных датчиков автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) [1].

При предсказании сигнала на один интервал времени вперёд основную роль определяют высокочастотные составляющие спектра сигнала, а низкочастотные составляющие спектра сигнала могут не учитываться, так как на небольшом отрезке времени их условно можно считать неизменяющимися во времени. Но при прогнозе на несколько интервалов времени вперёд влияние низкочастотных составляющих спектра сигнала необходимо учитывать.

Необходимо отметить, что при предсказании сигнала на несколько интервалов времени вперёд учесть изменение сигнала, обусловленное высокочастотной составляющей спектра сигнала, достаточно сложно. Поэтому при прогнозе на несколько интервалов времени вперёд необходимо учитывать именно низкочастотную составляющую прогнозируемого сигнала.

Прогноз на несколько интервалов времени вперёд низкочастотной компоненты, получаемой с выхода ФНЧ, формируется с использованием дециматора и фильтра линейного предсказания на один интервал времени вперёд. Линейное предсказание – это вычислительная процедура, позволяющая по некоторой линейной комбинации L предшествующих $y(n-l)$, $l = 1, 2, \dots, L$, взвешенных отсчетов недетерминированного сигнала предсказать (с некоторой точностью) будущее значение отсчета [2]. В данной работе в качестве фильтра линейного предсказания использовался КИХ-фильтр, коэффициенты которого находились методом минимизации ошибки.

Весь процесс формирования прогноза на несколько интервалов времени вперёд наблюдаемого сигнала состоит из основных этапов: фильтрация ФНЧ исходного сигнала (получение низкочастотной компоненты), децимация отфильтрованного сигнала (низкочастотной компоненты), построение прогноза децимированной низкочастотной компоненты (с выхода дециматора) на один интервал времени вперёд с использованием фильтра линейного предсказания, формирование доверительного интервала компонентного прогноза.

Пример формирования однокомпонентного прогноза и доверительного интервала сигнала. Так как реализация прогнозируемого сигнала достаточно продолжительна по времени (большое количество отсчётов по времени), на рисунках будет отображаться только выделяемая часть сигнала. На рис. 1 представлен отрезок исходного сигнала, включающий отсчёт времени под номером 6000, относительно которого будет формироваться прогноз.

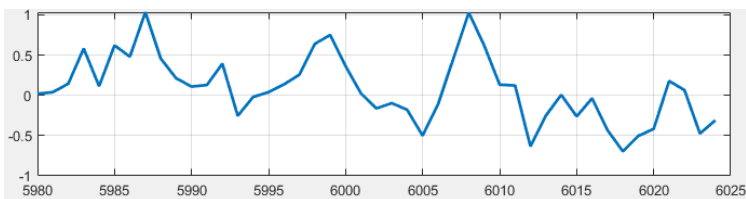


Рис. 1. Исходный сигнал

На рис. 2 представлен спектр всего исходного сигнала, по оси частот указана частота, нормированная к частоте дискретизации сигнала.

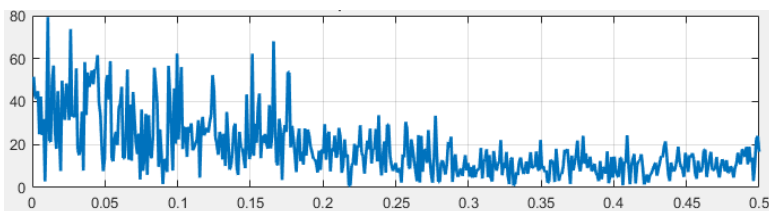


Рис. 2. Спектр исходного сигнала

Этап фильтрации. Данный этап служит для подавления высокочастотной составляющей сигнала, что необходимо для более точного прогноза низкочастотной составляющей и для предотвращения нарушения теоремы Котельникова при децимации. Чтобы избежать задержки сигнала при фильтрации, применяется процедура `filtfilt` `matlab`. На рис. 3, 4 представлены график отфильтрованного сигнала и спектр отфильтрованного сигнала.

Этап оценки доверительного интервала. На данном этапе производится вычитание отфильтрованного сигнала из исходного, после чего находится среднеквадратическое отклонение (СКО) полученного разностного сигнала. На рис. 5, 6 представлены график и спектр разностного сигнала из исходного и отфильтрованного сигналов.

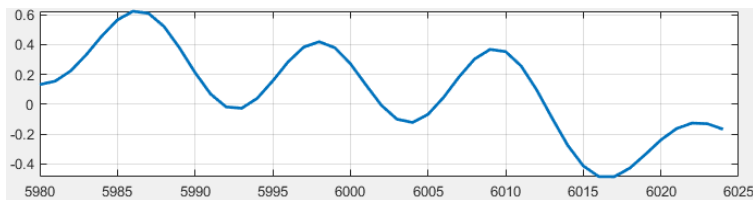


Рис. 3. Отфильтрованный сигнал

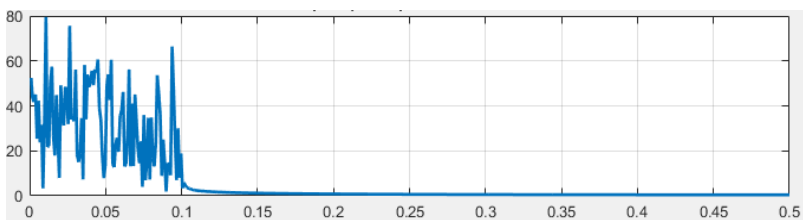


Рис. 4. Спектр отфильтрованного сигнала

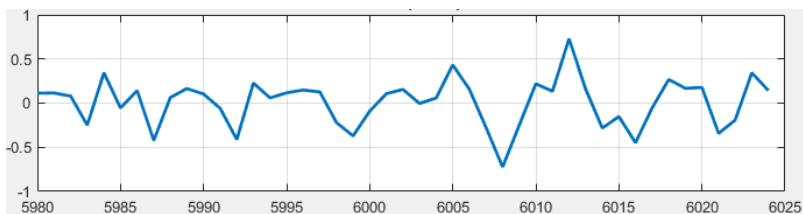


Рис. 5. Разность исходного и отфильтрованного сигналов

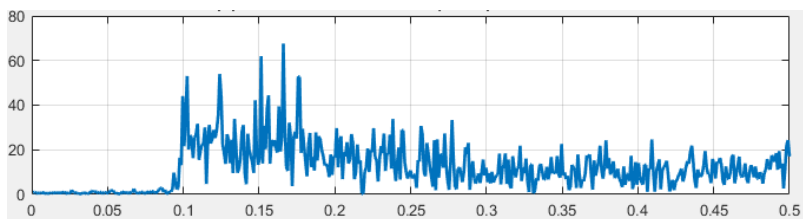


Рис. 6. Спектр разности исходного и отфильтрованного сигналов

Этап децимации. На данном этапе происходит децимация сигнала в соответствии с количеством отсчетов, на которое необходимо осуществить прогноз. Децимация реализуется с коэффициентом децимации, равном 4. На рис. 7 представлен спектр децимированного сигнала.

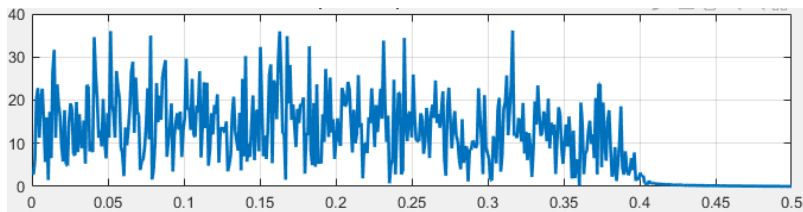


Рис. 7. Спектр децимированного сигнала

Этап прогнозирования. Реализуется прогнозирование децимированного сигнала с коэффициентом децимации 4 использованием фильтра линейного предсказания на один интервал времени вперёд. На рис. 8 представлен график исходного сигнала с нанесенными на него исходной точкой (относительно которой осуществлялся прогноз), максимальным и минимальным предсказанным значением.

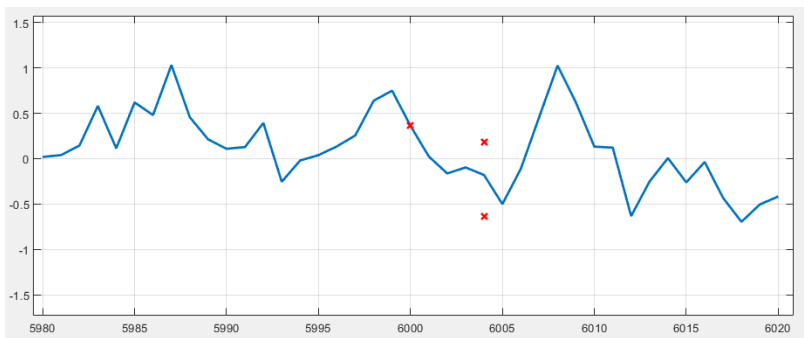


Рис. 8. Исходный сигнал с нанесенным спрогнозированным значением

Этап тестирования. Теперь произведем предсказание относительно точки 6000 на различное количество отсчетов.

Результаты расчётов представлены на рис. 9.

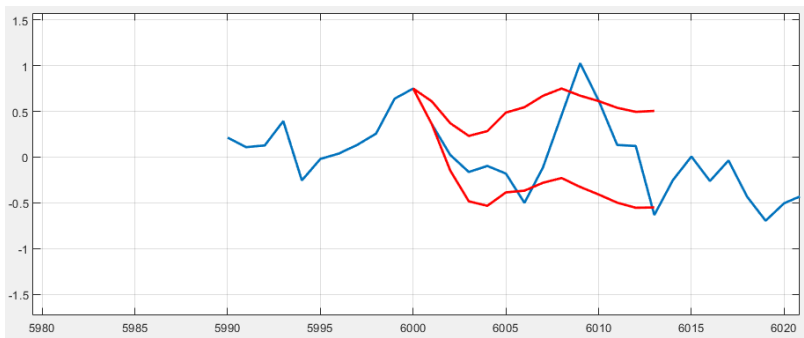


Рис. 9. Результаты прогноза на несколько точек

По графикам, представленным на рис. 9, можно наблюдать выход истинного значения исходного сигнала за границы прогнозируемой области, но общие тенденции изменения сигнала были спрогнозированы верно. Проблема локального несоответствия сигнала прогнозируемым значениям может решаться путем расширения прогнозируемых границ. На рис. 10 представлены результаты предсказания с границами плюс/минус $2 \cdot \text{СКО}$.

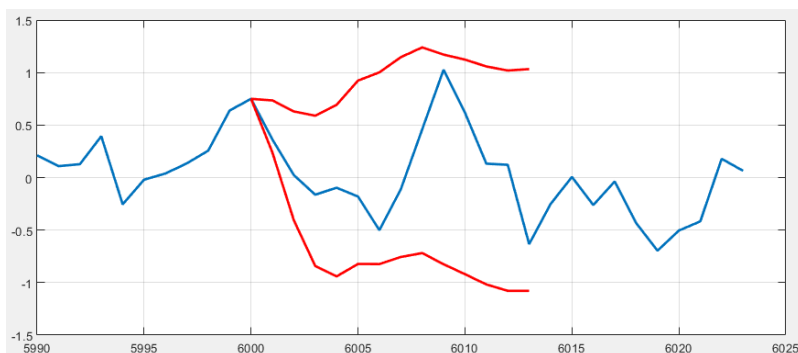


Рис. 10. Результаты прогноза на несколько точек с расширенными границами

Закключение. В ходе проделанной работы был поэтапно рассмотрен метод прогнозирования сигналов на несколько временных отсчетов вперёд с использованием ФНЧ, дециматора и фильтра линейного предсказания на один отсчёт времени вперёд.

Предложенный подход позволяет формировать компонентный прогноз сигнала на несколько интервалов времени вперёд с формированием доверительного интервала прогнозирования.

С увеличением дальности прогноза доверительный интервал значительно расширяется, что связано с необходимостью предварительной фильтрации с более низкой частотой среза ФНЧ, при этом общие тенденции изменения сигнала прогнозируются достоверно.

Библиографический список

1. Рагозин А.Н. Применение цифровой обработки сигналов и нейронной сети при формировании прогноза временных рядов данных для целей обнаружения аномалий при автоматизированном

управлении технологическими процессами // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2020. – № 1(35). – С. 24–34.

2. Основы цифровой обработки сигналов / А.И. Солонина, Д.А. Алахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. – СПб.: БВХ-Петербург, 2014. – 768 с.

Сведения об авторах

Рагозин Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Защита информации», доцент кафедры «Инфокоммуникационные технологии высшей школы электроники и компьютерных наук» Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, e-mail: ragozinan@susu.ru

Манилкин Александр Александрович – студент Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, e-mail: alexandr.manilkin@yandex.ru

А.В. Трусов, Д.И. Минтагиров

**ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БАЗЫ ДАННЫХ
ПО ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ПРОДУКЦИИ
ДЛЯ ТЭК РОССИИ**

Рассматривается модель информационно-аналитической обработки информации, сервис семантического поиска, сервис подбора продукции с близкими техническими характеристиками.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, информационно-аналитическая обработка, процедурная модель, интегрированное хранилище данных.

A.V. Trusov, D.I. Mintagirov

**PROCEDURAL MODEL OF INFORMATION
AND ANALYTICAL PROCESSING OF THE DATABASE
ON IMPORT-SUBSTITUTING PRODUCTS FOR
THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF RUSSIA**

This article discusses a model of information and analytical information processing, a semantic search service, a service for selecting products with similar technical characteristics.

Keywords: fuel and energy complex, information and analytical processing, procedural model, integrated data store.

Современные экономические и политические условия диктуют нам новые факторы, влияющие на экономическое развитие нашей страны. Поэтому важным фактором для российской экономики оказывается международное сотрудничество в производстве и поставке на международный рынок топливно-энергетических ресурсов. Значит, эффективное и продуктивное использование энергетического потенциала нашей страны является целью внешней экономики, которая позволит интегрироваться в мировой энергетический рынок, усилить позиции на нем и получать максимальную прибыль. Предельно эффективная работа, стабильное развитие и предсказуемость топливно-энергетического комплекса позволят добиться необходимой цели.

В настоящее время в основу производственных и технологических процессов компаний топливно-энергетического комплекса России входят зарубежное оборудование и программное обеспечение, а в условиях санкций ввоз зарубежных объектов техники и технологий снижен до минимальных объемов*. Вследствие этого ТЭК испытывает дефицит технологий, что сказывается на эффективности работы и приводит к необходимости импортозамещения технологий. В свою очередь, импортозамещение невозможно без создания единого информационного контура между компаниями ТЭК и отечественными производителями оборудования, отечественными разработчиками программного обеспечения. Поэтому создание системы информационно-аналитического обеспечения необходимо для повышения эффективности работы топливно-энергетического комплекса страны, принятия быстрых управленческих решений, а также использования научно-технологического потенциала регионов России.

Разрабатываемая система предназначена для сокращения зависимости российского ТЭК от зарубежной продукции, повышения качества управленческих решений, использования технологического потенциала России, что делает систему крайне актуальной.

Целью системы является обеспечение предприятий топливно-энергетического комплекса оперативной, достоверной и своевременной информацией о возможностях промышленных предприятий, научных организаций и высших учебных заведений в разработке и производстве импортозамещающей продукции для потребностей предприятий ТЭК, т.е. обеспечение взаимодействия на пересечении интересов.

Предлагаемая процедурная модель информационно-аналитической обработки позволит создать единую информационно-аналитическую систему для наблюдения и управления процессами импортозамещения во всех отраслях ТЭК, обеспечить взаимоусиливающий эффект взаимодействия компаний комплекса и отечественных разработчиков, предприятий. Кроме того, система позволяет осуществлять мониторинг выполнения планов импортозамещения в нефтегазовом секторе (приказ Минпромторга России № 645 от 31 марта 2015 г.).

* Трусов А.В., Трусов В.А. Информационные модели процесса формирования планов импортозамещения в топливно-энергетическом комплексе России // Информационные ресурсы России. – 2018. – № 5. – С. 15–21.

Процедурная модель информационно-аналитической обработки информации в контурах ТЭК представлена на рисунке.

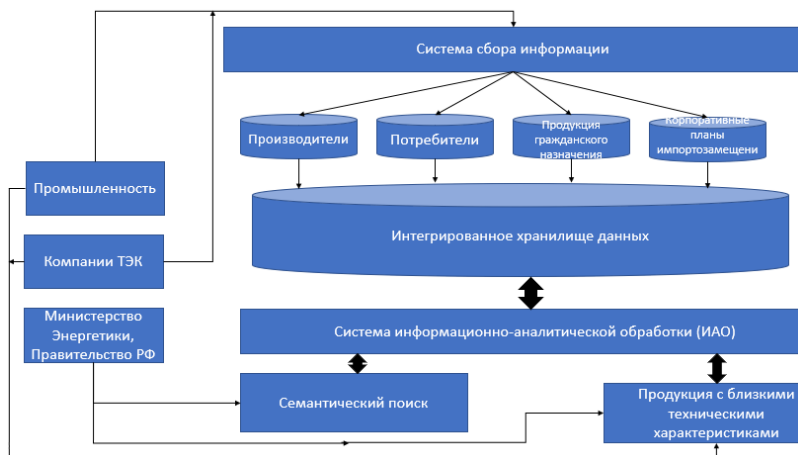


Рис. Процедурная модель информационно-аналитической обработки

Система содержит в себе несколько информационных контуров:

1. Производители импортозамещающей продукции
2. Потребители импортозамещающей продукции
3. Продукция гражданского назначения
4. Корпоративные планы импортозамещения

Каждый информационный контур представляет собой некоторую базу данных, которая заполняется с помощью системы сбора информации. С одной стороны, отечественные производители оборудования, запасных частей, разработчики программного обеспечения вносят информацию о своих возможностях в базы данных с помощью специальных форм и классификаторов. С другой стороны, компании топливно-энергетического комплекса России вносят информацию о потребностях в различном оборудовании, запасных частях, программном обеспечении. Далее вся информация с данных четырех контуров собирается в интегрированное хранилище данных для последующей обработки системой информационно аналитической обработки (ИАО).

Система ИОА взаимодействует с двумя сервисами:

1. Сервис семантического поиска.
2. Сервис подбора продукции с близкими техническими характеристиками.

Сервис семантического поиска разработан для поиска необходимой информации пользователями из Министерства энергетики России и Правительства РФ. Поиск осуществляется с помощью ключевых слов или словосочетаний. Сервис имеет символьное описание, строковый характер и может обращаться к любым сегментам интегрированного хранилища данных, что позволяет осуществлять поиск по любому сектору, отрасли, классу.

Сервис подбора продукции с близкими техническими характеристиками необходим для пользователей со стороны отечественных производителей и отечественных разработчиков для осуществления поиска непосредственных потребителей выпускаемой продукции. Для компаний ТЭК сервис может осуществлять работу в обратном направлении – для поиска отечественных производителей необходимого для работы оборудования или ПО. Данный сервис имеет жесткую привязку к отрасли ТЭК, техническому направлению, типу продукции, классу продукции. То есть данные пользователи могут получать информацию только в рамках заполненных ими классификаторов. Данная привязка нужна для того, чтобы снизить нагрузку на систему, а также для того, чтобы предприятия не могли заниматься промышленной разведкой и шпионажем.

Таким образом, данная разрабатываемая система позволит создать единое информационное пространство между компаниями, входящими в ТЭК, и отечественными представителями технологий, наладить эффективную работу комплекса, решить проблему технологической зависимости от западных стран. Также единое информационное пространство поможет развивать промышленность России, даст возможность разрабатывать и выпускать технологии под нужды ТЭК, упростит мониторинг и управление импортозамещением в России.

Сведения об авторах

Трусов Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, директор, Пермский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, г. Пермь, e-mail: tav@permcnti.ru

Минтагиров Денис Илнурович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-19-1м, г. Пермь, e-mail: denmintagirov@mail.ru

Е.С. Белозерова, Е.Ю. Данилова

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МОДЕЛЬ ШАБЛОНОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ

Работа посвящена усовершенствованной модели шаблонов, позволяющей автоматически тестировать задачи, имеющие несколько верных ответов. Для построения модели были использованы задачи на графах, возможные верные ответы проанализированы и разбиты на классы. Рассмотрен вопрос эффективности использования генерации на основе шаблонов для некоторых задач.

Ключевые слова: автоматическая проверка решений, автоматическое тестирование, тестирование программ, шаблоны ответов, классификация ответов.

E.S. Belozerova, E.Yu. Danilova

UPGRADED TEMPLATE MODEL FOR AUTOMATIC TESTING OF PROGRAM SOLUTIONS

This article describes the upgraded model for automatic testing based on templates. To build the model we have used graph problems and divided them into classes by possible correct answers. The efficiency of using templates also was investigated.

Keywords: solution automatic test, automatic test, program testing, answers' template.

Автоматическая проверка программных решений широко применяется для проведения соревнований по программированию и в учебном процессе. Статья посвящена проблеме программного тестирования задач, имеющих множество вариантов верного ответа, порой существенно отличающихся друг от друга по записи. Широко применимый подход посимвольного сравнения [2, 3] требует большого количества договоренностей между составителями условий и пользователями системы, поэтому не подходит для такого типа задач. Альтернативный подход генерации ответов на основе задаваемых шаблонов показал свою практическую применимость, модель может быть адаптирована и расширена для увеличения доступных для тестирования задач.

Автоматическая проверка задач на основе задаваемых шаблонов. Для решения проблемы программного тестирования задач, имеющих несколько вариантов верного ответа, требуется проверять принадлежность ответа студента к целому множеству верных ответов. Ручное заполнение слишком трудоемко, поэтому мы используем различные алгоритмы генерации этого множества из некоторого одного верного ответа. Будем называть их классом ответа и базовым ответом соответственно, а шаблоном – парю этих понятий. Для проверки требуется запустить решение студента для некоторых тестовых входных данных, извлечь из вывода программы строку-ответ и проверить, принадлежит ли полученный ответ к множеству верных ответов.

На рис. 1 представлен пример генерации ответа и проверки для задачи коммивояжера. Можно видеть, что использование проверки на точное соответствие одному ответу привело бы к сообщению об ошибке.

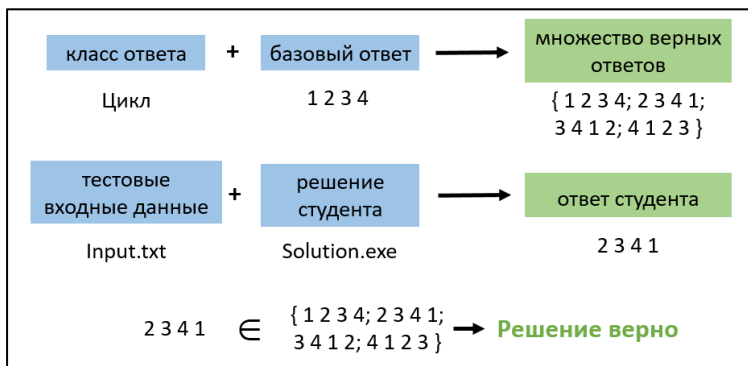


Рис. 1. Пример генерации и проверки на основе шаблонов

Дадим определения для классов ответов, разработанных в первой версии [1]. Описанные классы ответов формировались на основе задач на графах, предлагаемых для решения студентам первого курса по дисциплине «Дискретная математика» в ПГНИУ.

Точное совпадение – ответ студента должен полностью соответствовать указанному ответу после необходимых преобразований (удаление пробельных символов, приведение к одному регистру).

Цикл – список, который может начинаться с любого компонента и читаться как по часовой стрелке, так и против.

Множество циклов – случай, когда циклов, подходящих на роль ответа, несколько. Тогда требуется проверить не только все возможные варианты записи одного цикла, но и несколько циклов.

Перестановка – множество компонентов без сохранения порядка.

Последовательность – множество «точных совпадений» в роли альтернатив верного ответа. Ответ студента корректен в том случае, если совпадает хотя бы с одной из этих альтернатив.

Для формальной записи множества верных ответов будут использованы обозначения: «+» – добавление необходимого компонента ответа; «|» – альтернативный верный ответ при некотором условии. Таким образом, задачам соответствуют следующие классы ответов:

1. Определение числа компонент связности в графе – {точное совпадение}.
2. Центр, радиус, диаметр дерева – {точное совпадение}.
3. Изоморфность графов – {точное совпадение}.
4. Обход графа в глубину и ширину – {последовательность | точное совпадение («граф несвязный»)}.
5. Поиск циклов с отрицательной стоимостью (алгоритм Флойда) – {множество циклов | точное совпадение («цикла нет»)}.
6. Эйлеров цикл/цепь – {точное совпадение + (последовательность | цикл)}.
7. Определение двудольности графа – {(перестановка + перестановка) | множество циклов}.
8. Задача коммивояжера – {точное совпадение + цикл}.
9. Минимальное остовное дерево с алгоритмом Краскала – {точное совпадение + перестановка}.
10. Минимальное остовное дерево с алгоритмом Прима – {точное совпадение + перестановка}.
11. Алгоритм Дейкстры – {точное совпадение + последовательность}.
12. Алгоритм Флойда – {точное совпадение + последовательность}.

Усовершенствование модели шаблонов. Требуется также обращать внимание на трудозатраты при составлении шаблонов. Класс ответа «последовательность» является списком «точных совпадений», заполнение которого для каждого тестового случая займет много времени. Оставим класс ответа «последовательность» для более

простых задач и выделим несколько новых для повышения скорости составления шаблонов.

Для задачи обхода графа в ширину добавим класс «обход в ширину». Начиная обход графа с разных вершин, мы будем получать отличающиеся последовательности вершин, каждая из которых является верным ответом с точки зрения постановки задачи. Класс ответа «обход в ширину» не нуждается в заполнении базового ответа, но ему требуются входные данные теста. Аналогично создадим класс ответа «обход в глубину».

Для таких задач как поиск эйлерова цикла, цепи требуется решить задачу, чтобы узнать, является ли ответ студента верным. Покажем, почему это так. На рис. 2 представлен эйлеров граф. Допустим, цикл начинается с вершины под номером один, жирными линиями выделены ребра, инцидентные ей, т.е. потенциальным продолжением эйлерова цикла могут быть вершины 2, 3, 4, 5. С одной стороны, порядок вершин должен быть определен (нельзя использовать класс ответа «перестановка»), но в то же время количество вариантов последовательности вершин довольно велико даже для небольших графов. Решение этой задачи нерационально с использованием шаблонов, поэтому задачи об эйлеровом цикле/эйлеровой цепи будут исключены из дальнейшего рассмотрения.

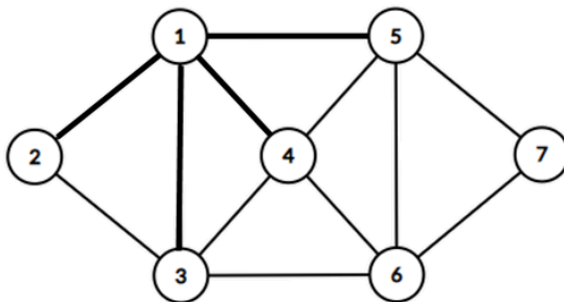


Рис. 2. Эйлеров граф

Для алгоритмов Дейкстры и Флойда использование класса ответа «последовательность» оправдано, поскольку порядок вершин четко определен, а множественность ответов может возникнуть только

в случае, если в графе есть ребра одинаковой длины (тогда кратчайших путей может быть несколько). Хотя перечисление вершин может начинаться с двух концов (1-2-3 и 3-2-1 – это один и тот же путь), количество возможных корректных ответов обозримо.

Для решения задачи о двудольности графа достаточно класса ответа «перестановка» для записи долей. Согласно теореме [4] для связных графов разделение на доли единственно, следовательно, вариативность ответа заключается только в порядке перечисления вершин внутри доли. Эта проблема решается использованием класса ответа «перестановка».

Для задачи о двудольности графа в качестве доказательства невозможности деления на доли требуется вывести цикл нечетной длины. Таких циклов может быть несколько, они могут состоять из разного количества вершин. Эффективным вариантом решения будет создание программы для проверки предложенного студентом цикла на соответствие условию. Генерация ответов на основе шаблонов оказывается более сложной задачей как по количеству сгенерированных ответов, так и по трудозатратам на разработку. Поскольку предметом исследования является генерация на основе шаблонов, класс ответа «множество циклов» не будет рассматриваться в дальнейшем. Для решения задач, в которых планировалось использование «множества циклов» будет применен класс ответа «цикл».

Таким образом, классы ответов для предложенных задач примут следующий вид:

1. Определение числа компонент связности в графе – {точное совпадение}.
2. Центр, радиус, диаметр дерева – {точное совпадение}.
3. Изоморфность графов – {точное совпадение}.
4. Обход графа в глубину и ширину – {(обход в глубину + обход в ширину) | точное совпадение («граф несвязный»)}.
5. Определение двудольности графа – {(перестановка + перестановка) | цикл}.
6. Задача коммивояжера – {точное совпадение + цикл}.
7. Минимальное остовное дерево алгоритмом Краскала – {точное совпадение + перестановка}.

8. Минимальное остовное дерево алгоритмом Прима – {точное совпадение + перестановка}.

9. Алгоритм Дейкстры – {точное совпадение + последовательность}.

10. Алгоритм Флойда – {точное совпадение + последовательность}.

11. Поиск циклов с отрицательной стоимостью (алгоритм Флойда) – {цикл | точное совпадение («цикла нет»)}.

Формальное описание модели шаблонов. Используем формы Бэкуса–Наура для описания полученной модели шаблонов. В круглых скобках будем указывать аргумент, таким образом процесс получения множества ответов из одного будет показан более подробно (рис. 3–5).

<цифра> ::= '0' '1' '2' '3' '4' '5' '6' '7' '8' '9'	<разделитель> ::= ' ' '\n' '\t' <пользовательский разделитель>
<буква> ::= 'A' 'B' ... 'Z' 'a' 'b' ... 'z'	<пользовательский разделитель> ::= <символ>
<символ> ::= <буква> <цифра>	<токен> ::= <символ> { <символ> }
<начало> ::= <токен>	<тело> ::= <ответ>
<конец> ::= <токен>	<вершина> ::= <цифра>
<потомок> ::= <вершина>	<граф> ::= <вершина> { <разделитель> <вершина> }
<ответ> ::= <токен> { <разделитель> <токен> } <начало> <разделитель> <тело> <разделитель> <конец>	

Рис. 3. Модель шаблонов, часть 1

<класс ответа(<ответ>)> ::= <простой класс ответа(<ответ>)> <генерируемый класс ответа(<ответ>)>	
<составной класс ответа(<ответ_1>, <ответ_2>, ..., <ответ_n>)> ::=	
<комбинированный класс ответа(<ответ_1>, <ответ_2>, ..., <ответ_n>)>	
<последовательность(<ответ_1>, <ответ_2>, ..., <ответ_n>)>	
<простой класс ответа(<ответ>)> ::= <точное совпадение(<ответ>)> <цикл(<ответ>)> <перестановка(<ответ>)>	
<точное совпадение(<ответ>)> ::= <ответ>	
<цикл(<ответ>)> ::= <ответ> <ответ_циклсдвиг_влево(<ответ>)> <ответ_циклсдвиг_вправо(<ответ>)>	
<ответ_циклсдвиг_вправо(<ответ>)> ::= <конец> <разделитель> <начало> <разделитель> <тело>	
<ответ_циклсдвиг_вправо(<конец> <начало> <тело>)>	
<ответ_циклсдвиг_влево(<ответ>)> ::= <тело> <разделитель> <конец> <разделитель> <начало>	
<ответ_циклсдвиг_влево(<тело> <конец> <начало>)>	
<перестановка(<ответ>)> ::= <перестановка(<начало> <тело> <конец>)>	
<перестановка(<a>,)> ::= <a> <a>	
<перестановка(<a>, , <c>)> ::= <a> <перестановка(, <c>)>	
 <перестановка(<a>, <c>)> <c> <перестановка(<a>,)>	
<последовательность(<ответ_1>, <ответ_2>, ..., <ответ_n>)> ::= <точное совпадение(<ответ_1>)>	
<точное совпадение(<ответ_2>)> ... <точное совпадение(<ответ_n>)>	

Рис. 4. Модель шаблонов, часть 2

```

<генерируемый класс ответа> ::= <BFS> | <DFS>

<DFS(<граф>)> ::= <вершина><потомок1><потомок2> |
<вершина><DFS(<потомок1>)><DFS(<потомок2>)>

<BFS(<граф>)> ::= <потомок1><потомок2> |
<вершина><потомок1><потомок2><BFS(<потомок1>)><BFS(<потомок2>)>

<комбинированный класс ответа(<ответ_1>, <ответ_2>, ..., <ответ_n>)> ::=
<DFS+BFS(<ответ_1>, <ответ_2>)> | <двузначность(<ответ_1>, <ответ_2>)> |
<коммивояжер(<ответ_1>, <ответ_2>)> | <Краскал/Прим(<ответ_1>, <ответ_2>)> |
<Дейкстра/Флойд(<ответ_1>, <ответ_2>)> |
<пользовательский комбинированный класс ответа(<ответ_1>, <ответ_2>, ..., <ответ_n>)>

<DFS+BFS(<ответ_1>, <ответ_2>)> ::= <DFS(<ответ_1>)><разделитель><BFS(<ответ_2>)>

<двузначность(<ответ_1>, <ответ_2>)> ::= <перестановка(<ответ_1>)><разделитель><перестановка(<ответ_2>)>

<коммивояжер(<ответ_1>, <ответ_2>)> ::= <точное совпадение(<ответ_1>)><разделитель><цикл(<ответ_2>)>

<Краскал/Прим(<ответ_1>, <ответ_2>)> ::= <точное совпадение(<ответ_1>)><разделитель><перестановка(<ответ_2>)>

<Дейкстра/Флойд(<ответ_1>, <ответ_2>)> ::= <точное совпадение(<ответ_1>)><разделитель><последовательность(<ответ_2>)>

<пользовательский комбинированный класс ответа(<ответ_1>, <ответ_2>, ..., <ответ_n>)> ::=
<простой класс ответа(<ответ_1>)> {<простой класс ответа(<ответ_i>)>}

<шаблон> ::= <класс ответа(<ответ>)>

<составной шаблон> ::= <составной класс ответа(<ответ_1>{<разделитель><ответ_i>}>

```

Рис. 5. Модель шаблонов, часть 3

Закключение. Модель, позволяющая решить проблему тестирования задач, имеющих множество верных ответов, была усовершенствована и расширена новыми классами ответов.

Описанный подход может быть использован при разработке информационной системы автоматической проверки решений студентов.

Библиографический список

1. Белозерова Е.С., Данилова Е.Ю. Выделение классов ответов для автоматической проверки задач на основе задаваемых шаблонов // Сб. материалов науч.-техн. конф. АСУИТ. – 2020.
2. Нелюбин Е.С., Адильшаева Э.И. Системы автоматического тестирования программ как онлайн обучающие системы // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. – 2016. – №2 (12). – С. 82–89.
3. Новиков М.Д. Система автоматического тестирования программ, написанных на языке паскаль // Альманах современной науки и образования. – 2017. – №6 (119). – С. 68–71.

4. Chartrand G., Zhang P. Chromatic Graph Theory, Discrete Mathematics And Its Applications. – CRC Press, 2008. – P. 223.

Сведения об авторах

Белозерова Елизавета Сергеевна – студентка Пермского государственного национального исследовательского университета гр. ПМИ-17-1, г. Пермь, e-mail: belozerova.lizaveta@gmail.com

Данилова Екатерина Юрьевна – старший преподаватель кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: ket-eref@yandex.ru

Д.Е. Хозяшев, Р.А. Файзрахманов

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНОГО
И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Рассмотрены ключевые особенности разрабатываемой автоматизированной системы для исследования методов решения задачи календарного планирования единичного и мелкосерийного производства.

Ключевые слова: автоматизированная система, календарное планирование производства, веб-приложение, трехзвенная архитектура, методология UML, метод Джонсона, генетический алгоритм.

D.E. Khozyashev, R.A. Fayzrakhmanov

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM
FOR RESEARCHING METHODS FOR SOLVING
THE PROBLEM OF CALENDAR PLANNING
OF SINGLE AND SMALL-BATCH PRODUCTION**

This article describes key features of the developed automated system for the study of methods of solving a scheduling problem for single and small batch production.

Keywords: automated system, scheduling of production, web-application, a three-tier architecture, UML methodology, method of Johnson, genetic algorithm.

Задачи составления календарного плана подразумевают нахождение такого порядка выполнения работ, при котором будет происходить оптимальное распределение ресурсов между этими работами. Задачи такого рода встречаются во многих областях человеческой деятельности, например таких, как планирование производства, планирование проектов, управление ресурсами в вычислительных системах. К ним относится и задача календарного планирования единичного и мелкосерийного производства.

Формулировка данной задачи заключается в построении оптимальной последовательности обработки конечного множества деталей (партий) на ограниченном количестве станков. Для каждой детали (партии) составляется ее технологический маршрут и время ее обработки на отдельном станке [1]. Решением задачи является оче-

редь, в которой разные детали будут обработаны друг за другом на том или ином станке таким образом, что время, затраченное на весь процесс, будет минимальным.

При уменьшении общего времени обработки деталей закономерно ускоряется их выпуск, а также снижаются затраты на их производство, что является важным фактором для современного производства. Для таких целей создается Manufacturing Execution System – система управления производством (MES). Данные системы имеют различные методы и алгоритмы, чаще всего эвристические, которые позволяют решать задачи календарного планирования производства [2].

Среди подобных систем в российском сегменте имеются следующие продукты: «СПРУТ-ОКП» [3]; «1С:MES Оперативное управление производством» [4]; «Галактика MES» [5]; «Zenith SPPS» [6] и «Lean ERP SCM» [7].

Однако представленные системы не подходят для изучения методов решения описанной выше задачи по тем причинам, что они платные, а их алгоритмы оптимизации закрыты для исследования или их изменения. Поэтому было принято решение разработать специальную автоматизированную систему для описанных целей, которая будет бесплатной и с возможностью исследовать работу алгоритмов оптимизации и возможностью добавления в будущем новых за счет открытого кода.

Для описания функциональных возможностей была составлена диаграмма использования UML [8], которая представлена на рис. 1.

Пользователь системы имеет доступ к таким функциям, как добавление деталей, станков и операций в систему с возможностью их редактирования, создание оптимального плана с использованием имеющихся алгоритмов оптимизации, составление отчета полученного оптимального плана, а также сравнение планов, полученных при использовании разных алгоритмов оптимизации.

Разрабатываемая система является веб-приложением с трехзвенной архитектурой: клиентская часть с веб-интерфейсом, серверная часть с сервером приложения и сервер с базой данных.

Повышение производительности рабочих станций позволило выбрать схему архитектуры, где большая часть бизнес-логики, связанная с работой с данными, находится на клиентской части, в отличие от обычной, где основная бизнес-логика выполняется серверным приложением. В таком случае сервер приложения будет выступать

в качестве обменного пункта данными между веб-интерфейсом и базой данных [9]. Описанная архитектура отображена на рис. 2.

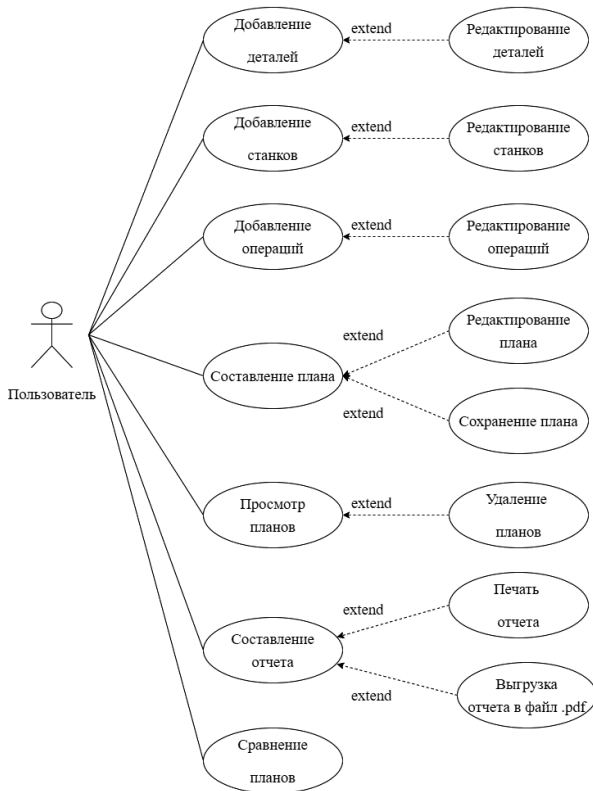


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования UML

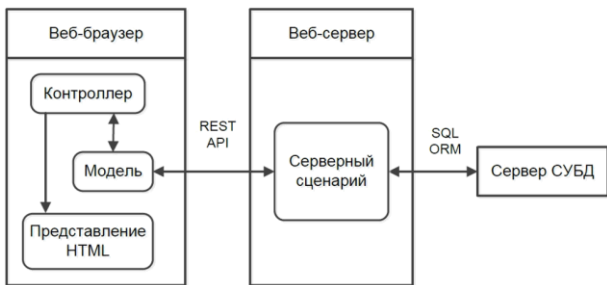


Рис. 2. Архитектура системы

Среди имеющихся методов решения задачи календарного планирования единичного и мелкосерийного производства в качестве первоначальных для реализации в системе были выбраны следующие методы:

1. Метод Джонсона.
2. Генетический алгоритм.
3. Метод применения правил предпочтения.

Метод Джонсона является простейшим примером для решения задачи календарного планирования, которая является частным случаем календарной задачи для двух станков.

Генетический алгоритм является методом оптимизации, основанным на принципах случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе [10]. Метод является одним из часто встречающихся эвристических методов, который может использоваться в системах календарного планирования производства в различных модификациях.

Метод правил предпочтения широко применяется при отсутствии других методов или в случае, если календарный план, построенный другим методом, был нарушен. Из правил были выбраны следующие:

- детали для обработки выбираются случайным образом с равной вероятностью для всех;
- детали с меньшей трудоемкостью запускаются в обработку первыми;
- детали с большей трудоемкостью запускаются в обработку первыми;
- детали с наибольшим числом невыполненных операций запускаются в обработку первыми.

На рис. 3 представлен скриншот экранной формы составления календарного плана. Имеется возможность выбора алгоритма построения плана. Созданный оптимальный план отображается в виде диаграммы Ганта. Также под диаграммой отображается общее время выполнения полученного плана. План можно сохранить в базу данных или вывести в отчет.

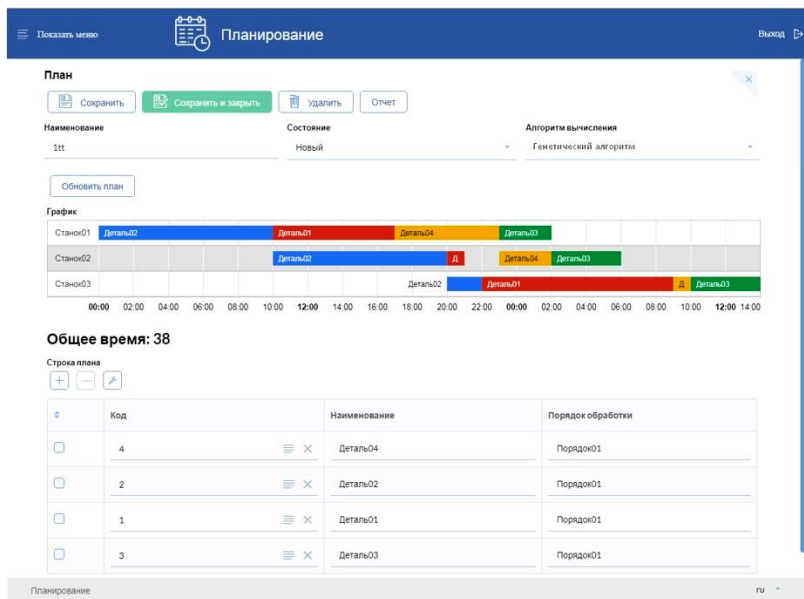


Рис. 3. Скриншот формы составления календарного плана

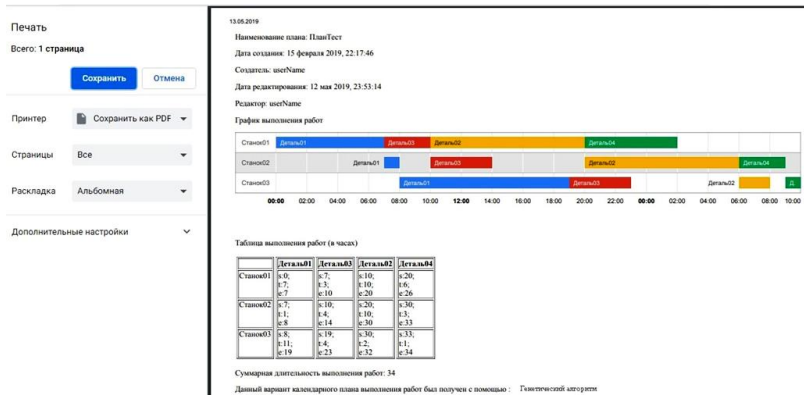


Рис. 4. Сформированный отчет календарного плана

На рис. 4 представлен сформированный отчет полученного оптимального календарного плана. Отчет содержит информацию о его создателе, дату его создания, содержит сам календарный план в виде

диаграммы Ганта, таблицу выполнения работ, общее время выполнения плана и метод, с помощью которого был построен календарный план. Сам отчет можно распечатать или сохранить стандартными средствами браузера.

В ходе работы была описана задача календарного планирования единичного и мелкосерийного производства, были представлены существующие системы календарного планирования, а также создан прототип автоматизированной системы для исследования методов описанной задачи.

Разрабатываемая система позволит изучать работу алгоритмов для составления оптимального календарного плана производства.

Библиографический список

1. Garey M.R., Johnson D.S., Sethi R. The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling // Mathematics of Operations Research. – 1976. – Vol/ 1, № 2. – P. 11–129.

2. Решетников И.С. MES: стратегическая инициатива. – М.: ИГСС, 2019. – 289 с.

3. Система оперативно-календарного планирования и управления производством СПРУТ-ОКП [Электронный ресурс]. – URL: <https://csprut.ru/sprutokp> (дата обращения: 26.05.2021).

4. 1C:MES Оперативное управление производством [Электронный ресурс]. – URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/mes/features> (дата обращения: 26.05.2021).

5. Галактика MES [Электронный ресурс]. – URL: <https://galaktika.ru/mes> (дата обращения: 26.05.2021).

6. Система Zenith SPPS [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.zspps.ru> (дата обращения: 26.05.2021).

7. Система СПМ (Lean ERP SCMo) [Электронный ресурс]. – URL: <http://rightstep.ru/lean-erp-scmo/lean-erp-scmo.html> (дата обращения: 26.05.2021).

8. Леоненков А.В. Самоучитель UML. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ- Петербург, 2006. – 432 с.

9. Архитектура корпоративных программных приложений / М. Фаулер, Д. Райс, М. Фоммел [и др.]. – М.: Вильямс, 2007. – 544 с.

10. Saleha Noor, M. Ikram Ullah Lali, M. Saqib Nawaz. Solving Job Shop Scheduling Problem with Genetic Algorithm // Science International (Lahore). – 2015. – Vol. 27, № 4. – P. 3367–3371.

Сведения об авторах

Хозяшев Дмитрий Евгеньевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. РИС-19-1м, г. Пермь, e-mail: dimchedim@bk.ru

Файзрахманов Рустам Абубакирович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com

И.Д. Кукушкин, Г.Н. Жарков, А.Б. Федоров

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «УМНОЕ ЗДАНИЕ» ПОД ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ANDROID И WINDOWS

Представлены этапы разработки системы диспетчерского управления и сбора данных для лабораторного стенда «Умное здание». Лабораторный стенд «Умный дом» позволяет с минимальными затратами как по времени, так и по бюджету протестировать все запланированные системы на искусственно созданных внутри и внешне домовых ситуациях, с помощью различных датчиков и исполнительных устройств. Для мобильности, удобства и удаленного управления необходимо программное обеспечение по управлению, контролю и сбору информации за «Умным зданием». Рассматривается схема расположения датчиков и исполнительных устройств, с которыми приложение должно взаимодействовать, а также представлен формат команд.

Ключевые слова: лабораторный стенд, умный дом, схема, датчики, исполнительные устройства, формат команд, мобильное приложение, десктопное приложение.

I.D. Kukushkin, G.N. Zharkov, A.B. Fedorov

DEVELOPMENT OF A DISPATCHING CONTROL AND DATA COLLECTION SYSTEM FOR THE "SMART BUILDING" LABORATORY STAND FOR ANDROID AND WINDOWS OPERATING SYSTEMS

In this article we study the possibility of constructing a domain model. The basis of the hybrid method is semantic analysis, syntactic analysis and morphological analysis of texts. It should take into account the merits and demerits of existing methods. The hybrid method is based on extracting relations from text. Relations is a verb, participle, or gerund. In this article we look at extracting relations such as "to be". We have shown a way to extract relations and objects from tokens. We described the general course of the algorithm of the hybrid model of building a domain.

Keywords: laboratory stand, smart hous, schema, sensors, executive devices, command format, mobile app, computer application.

Описание лабораторного стенда «Умный дом». Основное назначение лабораторного стенда «Умный дом», расположенного на кафедре ИТАС ПНИПУ, заключается в проведении лабораторных

работ студентов, изучении основ моделирования ситуаций, происходящих в пределах зданий, а также исследовании зависимости энергопотребления от работающих устройств в доме.

Схема расположения датчиков и исполнительных устройств.

Лабораторный стенд «Умное здание» представляет собой, макет здания, состоящего из пяти комнат, в каждой из которых расположены определенные датчики и исполнительные устройства. Датчики необходимы для снятия показания состояния дома, а исполнительные устройства используются для изменения этих состояний.

Для удобства отображения аппаратных средств комплекса «Умное здание» была разработана условная схема расположения датчиков и исполнительных устройств, которая представлена на рис. 1.

	Комнаты		Внешняя стена
3-й этаж	5 Мансарда Датчики: Датчик освещения (ф/л TЕМT6000) x2 Датчик движения (PIR Motion HC-SR501) x1 Датчик температуры/влажности (DHT-11) x1 Исполнительные устройства: Освещение (СИД 3 Вт) x1 Освещение (СИД RGB WS2812) x2		x1 x1 x1 x1 x1 x1 x1
2-й этаж	4 Ванная комната, санузел Датчики: Датчик освещения (ф/л TЕМT6000) x1 Датчик движения (PIR Motion HC-SR501) x1 Датчик температуры (DS18B20) x1 Датчик протечки воды (WLS) x1 Исполнительные устройства: Освещение (СИД 3 Вт) x1 Освещение (СИД RGB WS2812) x1	3 Спальня Датчики: Датчик освещения (ф/л TЕМT6000) x1 Датчик движения (PIR Motion HC-SR501) x1 Датчик температуры (DS18B20) x1 Датчик даял темп. GY-BMP280-3.3 I2C x1 Исполнительные устройства: Освещение (СИД 3 Вт) x1 Освещение (СИД RGB WS2812) x1 Элемент Пелетье (TEC1-12706) x1 Двухканальный Н-мост (BTST960), 43 А x1	блок питания (2 А, 5Vdc) плата расширения Arduino Mega Sensor Shield v2.0 для Arduino Mega датчик постоянного тока CJMVCU-219 на мс MAX471 (до 3.2 А), интерф. I2C датчик постоянного тока CV471 на мс МАХА471 (до 3.0 А), аналоговый датчик постоянного тока ACS712 5А, ток до 5 ампер, аналоговый датчик постоянного тока ACS712 20А, ток до 20 ампер, аналоговый часы реального времени (DS3231) модуль передачи данных Bluetooth HC-06 / Wi-Fi ESP8266 / RF NRF24L01
1-й этаж	2 Кухня Датчики: Датчик освещения (ф/л TЕМT6000) x1 Датчик движения (PIR Motion HC-SR501) x1 Датчик температуры (DS18B20) x1 Датчик газа метанбутанпропан (MQ-6) x1 Исполнительные устройства: Освещение (СИД 3 Вт) x1 Освещение (СИД RGB WS2812) x1	1 Гостиная Датчики: Датчик освещения (ф/л TЕМT6000) x1 Датчик движения (PIR Motion HC-SR501) x1 Датчик температуры (DS18B20) x1 Датчик открытия двери (геркон) x1 Исполнительные устройства: Освещение (СИД 3 Вт) x1 Освещение (СИД RGB WS2812) x1 Элемент Пелетье (TEC1-12702) x1 Двухканальный H-Мост (L298N), 2 А x1 Сервопривод двери (MG90S) x1	блок питания (2 А, 5Vdc) плата расширения Arduino Mega Sensor Shield v2.0 для Arduino Mega датчик постоянного тока CJMVCU-219 на мс MAX471 (до 3.2 А), интерф. I2C датчик постоянного тока CV471 на мс МАХА471 (до 3.0 А), аналоговый датчик постоянного тока ACS712 5А, ток до 5 ампер, аналоговый датчик постоянного тока ACS712 20А, ток до 20 ампер, аналоговый часы реального времени (DS3231) модуль передачи данных Bluetooth HC-06 / Wi-Fi ESP8266 / RF NRF24L01

Рис. 1. Схема датчиков и исполнительных устройств комплекса «Умное здание»

Формат команд. Для организации взаимодействия подсистемы верхнего и среднего уровня комплекса «Умное здание» был использован специально сформированный формат команд, которые условно можно разделить на следующие категории:

Команда запроса состояния представлена на рис. 2, позволяющая опросить имеющийся перечень датчиков и получить с них показания состояния, команда управления, позволяющая взаимодействовать

с исполнительными устройствами путем их включения, выключения, организации других доступных режимов работы и получения ответа о состоянии переключения режима работы. Команды управления, в свою очередь, подразделяются на команды с одним, двумя и тремя параметрами.

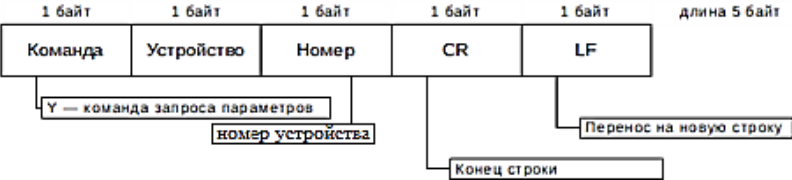


Рис. 2. Структура формата команды запроса состояния

Структура формата команды управления с одним параметром представлена на рис. 3.

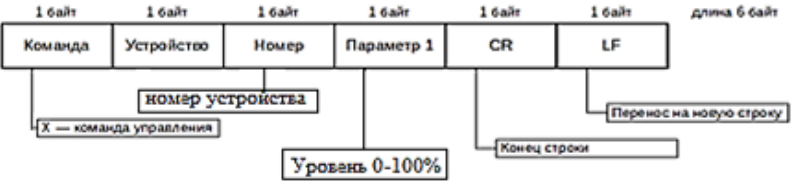


Рис. 3. Структура формата команды управления с одним параметром

Структура формата команды управления с двумя параметрами представлена на рис. 4.



Рис. 4. Структура формата команды управления с двумя параметрами

Структура формата команды управления с тремя параметрами представлена на рис. 5.



Рис. 5. Структура формата команды управления с тремя параметрами

Разработка приложения для операционных систем Android и Windows. Интерфейс – это инструмент взаимодействия между пользователем и программой. Важно сделать так, чтобы пользователь легко разобрался в функционале, визуал был приятен и не отталкивал, а на любом устройстве программа работала корректно. Интерфейс мобильного и десктопного приложения как раз отвечает за то, чтобы все вышеуказанные условия выполнялись.

Мобильное приложение. На рис. 6 представлена схема интерфейса приложения. Слева направо, представлены окна, к которым пользователь может обратиться. При входе в приложение пользователь увидит окно с надписью «Bluetooth выключен» при условии, что Bluetooth на телефоне будет выключен. Если Bluetooth на момент входа в приложение будет включен, пользователь увидит следующее окно со списком подключенных к телефону устройств.

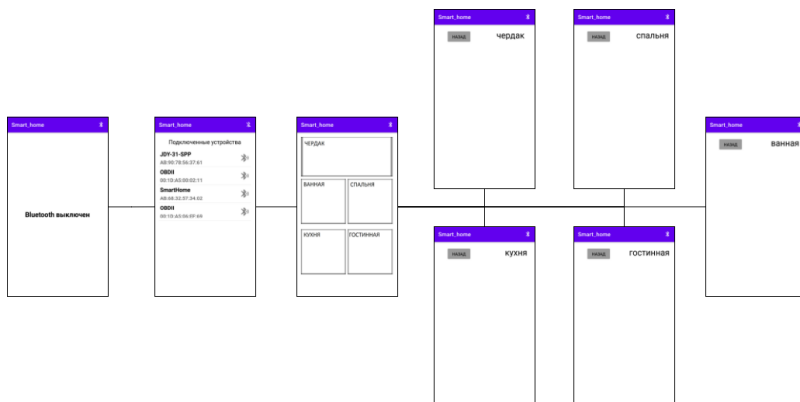


Рис. 6. Схема интерфейса приложения

После того как пользователь выберет устройство, произойдёт коннект, если коннект успешно выполнится, то пользователь увидит главное меню приложения с расположением комнат стенда «Умный дом». Главное меню представлено на рис. 7.



Рис. 7. Главное меню приложения

В главном меню можно увидеть расположение комнат, их названия, отображение иконок датчиков и иконку входа в комнату для управления исполнительными устройствами, находящимися внутри.

Идею отображения иконок от полученных данных с датчиков разберем на примере датчика освещенности комнаты. При получении сигнала о том, какой процент освещенности комнаты на данный момент, будет отображаться подходящая иконка, изображенная на рис. 8.

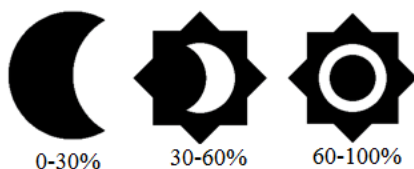


Рис. 8. Иконки, соответствующие освещенности комнаты

При нажатии на элемент входа в комнату будет открываться окно с элементами управления, расположенными в выбранной комнате. На рис. 9 представлен пример, как будет выглядеть такое окно. В окне комнаты «чердак» можно увидеть seekbar, или «бегунок», с помощью которого можно регулировать освещение в комнате, и checkbox, который предоставляет выбор пользователю, как изменять освещение.

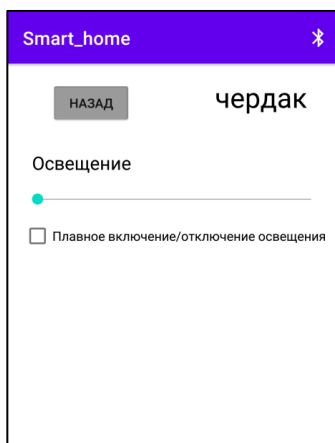


Рис. 9. Окно с элементами управления «чердака»

Десктопное приложение. На рис. 10 представлена главная – домашняя страница приложения, на ней пользователь будет видеть в реальном времени краткую информацию по каждой комнате, если нажать на любую комнату, то можно будет просмотреть подробную информацию за все время.

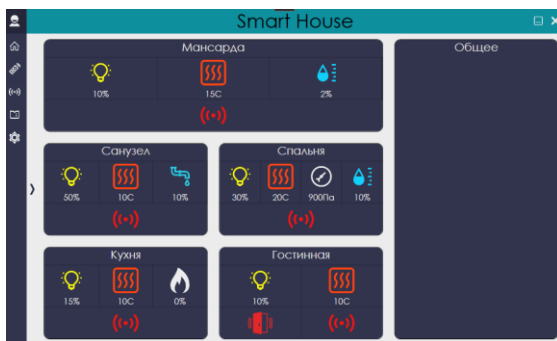


Рис. 10. Главная страница приложения

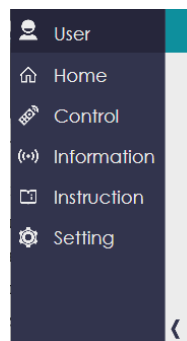


Рис. 11. Выплывающее меню

На рис. 11 представлено боковое выплывающее меню, в нем представлены все пункты меню, с помощью которых можно сменить пользователя, перейти на главную страницу, где будет отображена

краткая информация по дому, перейти на страницу управления домом, там будет управление исполнительными устройствами, находящимися в выбранной комнате, перейти на страницу полной информации о доме, там будет предоставлена полная информация за все время, перейти на страницу с инструкцией по приложению и в настройках, где можно будет настроить соединение с домом.

Сведения об авторах

Кукушкин Иван Денисович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр.ЭВТ-17-16, г. Пермь, e-mail: vania_kukushkin@mail.ru

Жарков Глеб Николаевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭВТ-17-16, г. Пермь, e-mail: Zharkov-Glebrus@mail.ru

Федоров Андрей Борисович – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: pstufab@gmail.com

А.В. Козин, О.В. Гончаровский

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАКЕТА ИДЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СЕРВИСНОГО РОБОТА «ПРОМОБОТ»

Рассматривается возможность внедрения навигационной системы в «Промобота». Описаны возможные популярные решения проблемы позиционирования робота, а также предложена альтернативная идея. Наиболее популярные методы, приведенные в статье, являются сложными методами ввиду необходимости внедрения дополнительного оборудования, увеличивающего себестоимость робота. Также эти методы являются менее продуктивными в среде замкнутого пространства и отсутствия препятствий. Предложенный метод является альтернативным выходом с наименьшими потерями.

Ключевые слова: SLAM, Bluetooth Beacon, QR коды, машинное зрение, навигация, позиционирование.

A.V. Kozin, O.V. Goncharovsky

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE LAYOUT OF AN IDEOCENTRIC NAVIGATION SYSTEM BASED ON THE PROMOBOT SERVICE ROBOT

This article discusses the possibility of implementing a navigation system in Promobot. Possible popular solutions to the problem of robot positioning are described, and an alternative idea is proposed. The most popular methods given in the article are complex methods due to the need to introduce additional equipment, which increases the cost of the robot and is less productive in an environment of closed space and the absence of obstacles. The proposed method is an alternative output with the least losses.

Keywords: SLAM, Bluetooth Beacon, QR codes, machine vision, navigation, positioning.

На данный момент стремительно развивается разработка автоматизированных роботов-помощников, которые выполняют различные миссии, от погрузки на складах, до обслуживания столиков в ресторанах и кафе. Роботизированные автоматически движущиеся аппараты для успешной реализации своей миссии в помещении должны использовать ту или иную навигационную систему.

Пермская компания «Промобот» занимается разработкой роботов, способных выполнять различные задачи, однако отсутствие встроенной навигационной системы в «промоботе» вызывает затруднения в автономной работе. Данный научный труд способен решить проблему позиционирования робота в замкнутых помещениях, а также перемещаться по нему, с одновременным выполнением своей миссии.

Методы решения проблемы позиционирования, существующие на данный момент, приведены ниже.

1. *SLAM – Метод одновременной навигации и построения карты.* В качестве датчиков используются лазерные дальномеры, стереосистемы. Для определения перемещения и поворотов робота используются энкодеры – датчики угловых и линейных перемещений.

В общем случае SLAM можно описать как повторяющуюся последовательность шагов [1]:

- 1) сканирование окружающего пространства;
- 2) определение смещение на основе сравнения текущего кадра с предыдущим;
- 3) выделение на текущем кадре особенностей-меток;
- 4) сопоставление меток текущего кадра с метками, полученными за всю историю наблюдений;
- 5) обновление на основе этой информации положение робота за всю историю наблюдений;
- 6) проверка на петли – не проходит ли робот повторно по одной и той же местности;
- 7) выравнивание общей карты.

2. *Технология Beacon* [2]. Схема работы проста: у нас по периметру установлены Bluetooth-маяки, координаты которых мы знаем. Эти маяки производят широковещательную передачу, содержащую идентифицирующую информацию на определенной частоте. Пользовательское приложение циклически получает эти данные, определяет координаты маяков из базы данных и определяет их местоположение на основе силы сигнала.

3. *QR Технология.* Используется на роботах как способ навигации внутри помещения. Имеется возможность использования двумерных штрих-кодов в качестве маяков в навигационной системе мобильных

роботов. Используется алгоритм распознавания двумерных кодов, который имеет достаточно высокую скорость работы и незначительную зависимость от угла наклона и поворота считывающей камеры.

4. Использование компьютерного зрения. Использование камер для навигации мобильного робота оправдано тем, что они обладают широкой полосой пропускания по сравнению с другими сенсорными системами и, соответственно, наибольшими семантическими возможностями для распознавания образов при картографировании, обеспечивая тем самым возможность перемещения по внешним ориентирам.

В нашей работе рассматривается идея внедрения идеоцентрической системы навигации, т.е. системы, использующей только свои датчики.

Наша трансверсальная система навигации должна обеспечивать перемещение робота из любой точки помещения в любую другую точку помещения. Предлагается использовать для локализации местоположения особенности помещения – прямоугольную форму, отсутствие препятствий в процессе движения и наличие компаса.

Идея определения местоположения заключается в следующем: примем любую из стен за ось X , с помощью компаса определим ориентацию помещения – азимут оси X . На «Промоботе» уже имеются датчики дальности, которые будут измерять расстояние от робота до стен. В какой бы точке пространства ни находился робот, если его ориентировать с помощью электронного компаса под прямым углом к стене, принятой за ось X , показания датчиков дальности в сантиметрах будут координатами X и Y местоположения (с учетом размера робота).

Для перемещения к цели идея заключается в следующем: определив текущие координаты, сохраняем их в памяти. Также в памяти храним азимут положения робота, стоящего перпендикулярно стене, принятой за ось X , и азимут стены, принятой за X . Зная координаты цели, начинаем перемещение робота, параллельно сверяя свое положение относительно цели.

Результатом исследования будет являться отлаженная для внедрения система навигации для «Промобота», не требующая подключения дополнительного оборудования.

Библиографический список

1. SLAM – принципы и ссылки на open source [Электронный ресурс]. – URL: <https://my-it-notes.com/2013/01/slam-basis-and-links-at-open-source> (дата обращения: 07.05.2021).

2. Навигация в помещениях с iBeacon и ИНС [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/245325> (дата обращения: 07.05.2021).

Сведения об авторах

Козин Алексей Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСР-20-1м, г. Пермь, e-mail: kozin.at16@gmail.com

Гончаровский Олег Владленович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: 35911953@mail.ru

К.М. Иванова, С.Ф. Тюрин, С.К. Чикаренко

ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ FPGA, КОНФИГУРИРУЕМЫЙ НА САМОСИНХРОННЫЙ ИЛИ СИНХРОННЫЙ РЕЖИМ

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС, FPGA) широко применяются в цифровой аппаратуре информационно-измерительных и управляющих систем. В большинстве ПЛИС используется синхронный принцип обработки информации, использующий тактовый генератор, частота которого рассчитывается на самый худший случай времени завершения переходных процессов. Асинхронные схемы работают по фактическим задержкам элементов и устройств, но их проектирование является гораздо более сложным в связи с необходимостью анализа очень большого числа вариантов состязаний (гонок) сигналов, цепей, элементов памяти. Подвидом асинхронных устройств являются самосинхронные схемы (ССС), имеющие средства фиксации завершения переходных процессов. На кафедре «Автоматика и телемеханика» ПНИПУ поддерживается научно-техническое сотрудничество с Институтом проблем информатики Российской академии наук Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук как с основным центром компетенций по направлению СССР в РФ, разработаны логические элементы для самосинхронных ПЛИС. Развитие самосинхронных ПЛИС, по оценке экспертов, является одним из перспективных направлений отечественного технологического базиса. В статье предлагается логический элемент ПЛИС, конфигурируемый как на самосинхронный, так и синхронный режим, что может увеличить область применения ПЛИС и гибкость проектов в рамках одной ПЛИС.

Ключевые слова: самосинхронный, логический элемент, FPGA.

K.M. Ivanova, S.F. Tyurin, S.K. Chikarenko

LOGIC GATE FPGAS CONFIGURABLE FOR SELF-TIMED OR SYNCHRONOUS MODE

Field programmable gate arrays (FPGA) are widely used in the digital equipment of information and measurement and control systems. In most FPGA, the synchronous principle of information processing using a clock generator is used, the frequency of which is calculated for the worst case of the completion of transient processes. Asynchronous circuits work with real delays in elements and devices, but their design is much more complex due to the need to analyze a very large number of signals racing, chains racing, memory elements racing. The subspecies of asynchronous devices are self-timed circuits (STC) having a services of fixing the completion of transient processes. The Department of Automation and Telemechanic PNRPU supported scientific and technical cooperation with the Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences of the Federal Research Center

"Informatics and Management" of the Russian Academy of Sciences, as with the main center of competences in the direction of the STC in the Russian Federation, developed logic gates for self-timed FPGAs. According to experts the development of self-timed FPGAs is one of the promising areas of the domestic technological basis. In this paper we propose a logical gate which can be configured both on self-timed and synchronous mode, that can increase the field of application of FPGA and the flexibility of projects within one chip.

Keywords: Self-timed, logic gate, FPGA.

Цифровая аппаратура информационно-измерительных и управляющих систем в подавляющем большинстве случаев работает под управлением синхросигналов тактового генератора, что имеет как положительные, так и отрицательные стороны. С одной стороны, это позволяет гарантированно «отсечь» все нежелательные явления, вызванные переходными процессами в схемах, за счет того, что входной сигнал некоторого комбинационного преобразователя информации устанавливается, например, на входном регистре по первой фазе синхронизации и остается неизменным до момента завершения переходных процессов при самом худшем (в смысле времени) развитии ситуации, когда по второй фазе сигнала синхронизации результат вычислений не запишется в выходной регистр. Но, с другой стороны, это уменьшает быстродействие цифровой схемы, в которой реальная длительность переходного процесса никак не оценивается. Кроме того, что сама аппаратура тактирования занимает относительно много площади кристалла, платы, устройства, имеются и нежелательные явления при передаче синхросигнала, например, джиттер. Переход к наноэлектронике и квантовым вычислениям только усугубляет недостатки синхронных схем. Поэтому исследовательский интерес к асинхронным решениям не ослабевает. В этом плане тематика самосинхронных схем (ССС) [1–3] весьма актуальна, несмотря на известные проблемы, которые, конечно, есть и у них. Уже разработаны самосинхронные процессорные устройства [4, 5], самосинхронная схемотехника востребована в бортовых цифровых вычислителях, работающих в сложных условиях эксплуатации [6], курсы по СССР имеются в МИТ (США) [7].

На кафедре «Автоматика и телемеханика» в рамках научного направления СССР разработаны логические элементы для СССР ПЛИС [8], которые призваны частично снизить отрицательные качества СССР. Возможно, лучшие решения могут сочетать как синхронный, так и са-

мосинхронный принципы, и такую возможность необходимо обеспечить пользователю новых предлагаемых комбинированных ПЛИС.

Поэтому целью исследования являлась разработка логического элемента ПЛИС, конфигурируемого как на самосинхронный, так и синхронный режимы, в зависимости от выбора пользователя. Выполняется моделирование в системе схемотехнического моделирования Multisim 14.0.

Базовый логический элемент FPGA. Базовый логический элемент ПЛИС 1-LUT имеет вид (рис. 1).

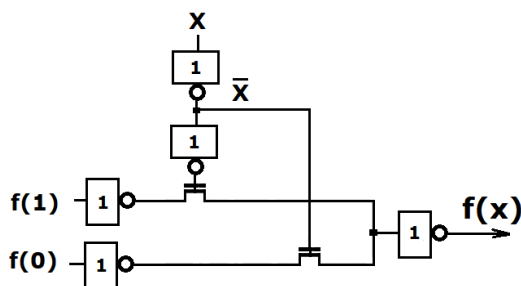


Рис. 1. 1-LUT

Настройки функции одной переменной X $f(0)$, $f(1)$ загружаются в конфигурационную память. Такой элемент обладает функциональной полнотой, поскольку путем каскадирования 1-LUT могут быть построены элементы на большее число переменных. X , $f(x)$ подключаются к необходимым точкам схемы с помощью матриц коммутации, настройка которых также определяется конфигурационным файлом. 1-LUT, изображенный на рис. 1, используется в синхронных схемах, причем синхронные триггеры также входят в состав стандартного конфигурируемого логического блока, помимо цепей переноса для арифметического режима, восстановителей сигналов, необходимых для восстановления логических уровней, которые могут быть нарушены при прохождении различных матриц коммутации, и др.

Самосинхронный логический элемент СС ПЛИС. Самосинхронный 1-LUT-ST [4] содержит основной $f(x)$ и двойственный НЕ- $f(x)$ каналы, индикаторы 2ИЛИ-НЕ, И, гистерезисный триггер Г(С-элемент или элемент Маллера), элементы 2И-НЕ для реализации спейсера Sp , на которые поступают парафазные переменные X и НЕ- X (рис. 2).

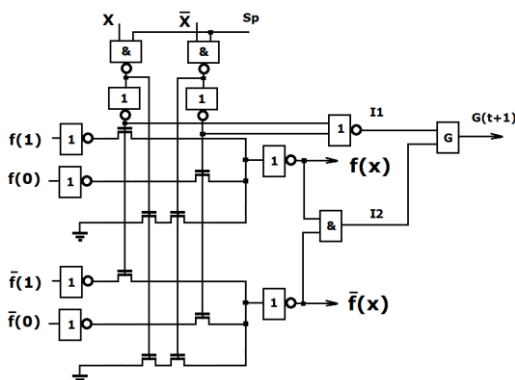


Рис. 2. 1-LUT-ST

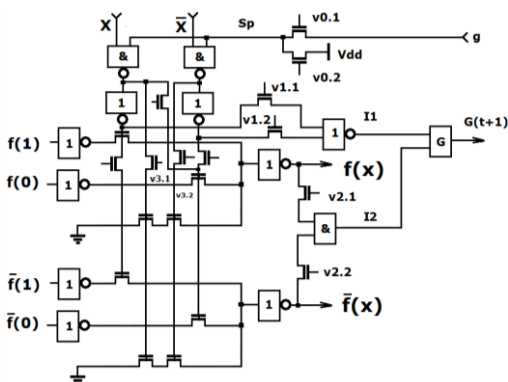


Рис. 3. Предлагаемый элемент 1-LUT-ST/C

Работа 1-LUT-ST происходит следующим образом: по начальному сигналу $Sp = 0$, который поступает с некоторого внешнего Г-триггера (на рис. 1 обратная связь разорвана) на выходах элементов 2И-НЕ, на которые поступает парафазный входной сигнал X , устанавливается 1. Поэтому индикатор 2ИЛИ-НЕ формирует сигнал $I1 = 1$. В основном и двойственном каналах активируются цепочки спейсера, в связи с чем основной $f(x)$ и двойственный не $f(x)$ формируют 1, индикатор И формирует сигнал $I2 = 1$, поэтому Г-триггер переходит в состояние 1 (в исходном он обнулен), что свидетельствует о завершении фазы спейсера (гашения), и передаётся по цепочке другим Г-триггерам, не указанным на рис. 2. Далее $Sp = 1$, принима-

ется входной сигнал, парафазный X , основной $f(x)$ и двойственный каналы НЕ- $f(x)$ формируют взаимно инверсные сигналы в зависимости от настроек элемента и значения X . Поэтому $I1 = I2 = 0$, Г-триггер переходит в состояние 0, что свидетельствует о завершении переходного процесса вычисления значения логической функции одной переменной. Далее вновь наступает фаза спейсера и т.д.

Разработка элемента 1-LUT-ST/C. Предлагаемый элемент показан на рис. 3. В схеме использованы дополнительные конфигурационные пары транзисторов v_i, j , настраивающих либо синхронный вариант, либо самосинхронный. Конфигурационная память так же, как и на рис. 1, 2, не показана. Входные элементы 2И-НЕ по своим вторым входам, на которые принудительно устанавливается 1, переводятся в режим инверторов. Каждый канал может быть использован как отдельный 1-LUT для одной и той же переменной X , либо как дублированный элемент. Разработанная модель показана на рис. 4.

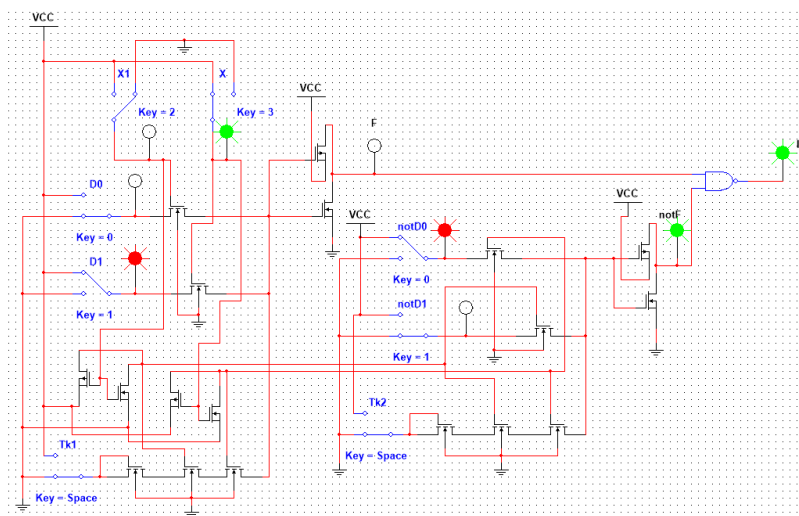


Рис. 4. Модель предлагаемого элемента 1-LUT-ST/C с отключением цепочки спейсера транзисторами Tk1, Tk2

Индикаторы и Г-триггер отключаются, при этом может быть осуществлено снятие питания, что не указано на рис. 4.

Аналогично рис. 4 отключаются индикаторы и реконфигурируются другие элементы.

Заключение. Таким образом, разработан новый элемент 1-LUT-ST/C FPGA, конфигурируемый на самосинхронный или синхронный режим. Это может увеличить гибкость проектных решений ПЛИС. Выполнено схемотехническое моделирования в САПР «Multisim 14.0» [9], которое подтвердило работоспособность предлагаемого элемента. В дальнейшем целесообразно выполнить топологическое моделирование в системе Microwind [10, 11].

Библиографический список

1. Muller D.E., Bartky W.S. A theory of asynchronous circuits, On the Theory of Switching. – Part 1. – Harvard: University Press, 1959. – P. 204–243.
2. Varshavsky V.I. Aperiodic Automata. – M.: Nauka, 1976. – 304 p.
3. Marakhovsky V.B., Surkov A.V. Globally asynchronous system of interactive Moore state machines // IET Computers and Digital Techniques. – 2016. – Vol. 10, iss. 4. – P. 186–192.
4. Speed-independent floating point coprocessor / Y.A. Stepchenkov, V.N. Zakharov, Y.V. Rogdestvenski [et al.] // IEEE East-West Design & Test Symposium: International, 26–29 Sept. 2015: proceedings. – Batumi, Georgia: IEEE, 2015. – P. 7493110. DOI: 10.1109/EWDTS.2015.7493110
5. Energy efficient speed-independent 64-bit fused multiply-add unit / Y.A. Stepchenkov, D.Y. Stepchenkov, Y.V. Rogdestvenski [et al.] // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic: International, 28–31 Jan. 2019: proceedings. – Moscow and St. Petersburg, Russia: IEEE, 2019. – P. 1709–1714. DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8657207
6. On board electronic devices safety provided by dice-based Muller C-elements / I.A. Danilov, M.S. Gorbunov, S.G. Bobkov [et al.] // Acta Astronautica. Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2018. – Vol. 150. – P. 28–32. DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.01.019
7. Self-timed Circuits [Electronic resource]. Access mode: <https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-004-computation-structures-spring-2017/c7/c7s2/c7s2v5/self-timed-circuits-6-21> (дата обращения: 21.05.2020).
8. Self-timed Look up Table for ULAs and FPGAs / S.F. Tyurin, A.Yu. Skornyakova, Y.A. Stepchenkov [et al.] // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2021. – No. 1, iss. 2. – P. 36–45.

9. Сайт разработчика National Instruments [Электронный ресурс]. – URL: // <http://www.ni.com/multisim/> (дата обращения: 21.02.2020).
10. Microwind & Dsch Version 3.5 [Электронный ресурс]. – URL: http://auto.teipir.gr/sites/default/files/microwind_manual_lite_v35.pdf (дата обращения: 21.05.2020).
11. Mehta, Nikil. An ultra-low-energy, variation-tolerant FPGA architecture using component-specific mapping. Dissertation (Ph.D.), California Institute of Technology [Электронный ресурс]. – URL: <http://thesis.library.caltech.edu/7226/1/Nikil-Mehta-2013.pdf> (дата обращения: 12.01.2021).

Сведения об авторах

Иванова Ксения Михайловна – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, начальник бюро технологического комплекса проверки аппаратуры и автоматизированных системы контроля отдела программного математического обеспечения научно-технического центра Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: ivanova-ksenijamikh@yandex.ru

Тюрин Сергей Феофентович – заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, профессор кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

Чикаренко Софья Константиновна – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, инженер-конструктор отдела разработки и сопровождения базовых элементов научно-технического центра Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: sophia-chikarenko@yandex.ru

Н.В. Бородина А.Б. Федоров

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

Представлена разработка информационно-измерительной системы и приведение графика пульсовой волны к пригодному виду для дальнейшей работы с ней. Продемонстрирован внешний вид системы. Основными компонентами системы являются микроконтроллер, датчик пульсовой волны и blue-tooth модуль. Описан алгоритм работы системы. Рассматриваются два метода фильтрации данных при построении графика – экспоненциальное скользящее среднее и медианный фильтр. Приведен принцип их работы по отдельности и совместно.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания, пульсовая волна, микроконтроллер, датчик, медианный фильтр, метод экспоненциального скользящего среднего.

N.V. Borodina, A.B. Fedorov

INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF THE BODY STATE BASED ON ANALYSIS OF PULSE WAVE PARAMETERS

This article presents the development of an information-measuring system and bringing the pulse wave graph to a suitable form for further work with it. The appearance of the system is demonstrated. The main components of the system are a microcontroller, a pulse wave sensor and a bluetooth module. The system operation algorithm is described. The article discusses two methods of filtering data when building a graph: the exponential moving average and the median filter. The principle of their work separately and jointly is given.

Keywords: cardiovascular diseases, pulse wave, microcontroller, sensor, median filter, exponential moving average method.

Текущая эпидемиологическая обстановка во всем мире напомнила человечеству, как важно беречь свое здоровье. Многие эксперты отмечают, что раньше измерять медицинские показатели своего организма стремились в основном профессиональные спортсмены, теперь же это становится интересно более широкому кругу лиц.

Одним из самых распространенных заболеваний, которым могут страдать люди любого возраста, является сердечно-сосудистое заболе-

вание (ССЗ). Для того чтобы выявить ССЗ на ранних стадиях и предупредить его дальнейшее развитие, необходимо разработать информационно-измерительную систему диагностики состояния организма. Данный комплекс предназначен для использования как в медицинских учреждениях для получения первичных диагнозов, так и для самостоятельного использования всех заинтересованных людей.

Аппаратная часть состоит из нескольких компонентов: микроконтроллер Arduino Uno, сенсорный датчик пульсовой волны Pulse Sensor, bluetooth модуль HC-06 и наручный браслет. Также для работы прибора необходим источник питания напряжением в 5 В, это может быть как подключение к стационарной электрической сети, так и автономное питание, например от аккумулятора.

Наручный браслет представляет из себя широкую плотную резинку, с внутренней стороны которой пришит датчик пульсовой волны. Резинка натягивается на запястье так, чтобы датчик находился над лучевой артерией. Изменения объема крови в артерии будут фиксироваться, отправляя данные на микроконтроллер. Полученные данные фильтруются и отправляются на ПК для расчета различных показателей пульсовой волны.

Микроконтроллер Arduino Uno позволяет запрограммировать разрабатываемый комплекс для выполнения необходимой задачи. Arduino выступает в роли мозга системы: он принимает данные с датчика пульсовой волны, фильтрует и обрабатывает их от шумов, а также передает на электронное устройство по bluetooth модулю.

Pulse Sensor – это аналоговый датчик, основанный на методе фотоплетизмографии – изменении оптической плотности объема крови в области, на которой проводится измерение (например, палец руки или мочка уха), вследствие изменения кровотока по сосудам в зависимости от фазы сердечного цикла. Датчик содержит источник светового излучения (светодиод зеленого цвета) и фотоприемник, напряжение на котором изменяется в зависимости от объема крови во время сердечных пульсаций*.

Благодаря bluetooth модулю реализуется беспроводная передача данных между аппаратным комплексом и ПК, что делает разрабатываемую систему мобильной и более удобной в использовании. Внешний вид собранного комплекса представлен на рис. 1.

* Рымарь А.В. Разработка информационно-измерительной системы анализа пульсовой волны. – Пермь, 2018. – 16 с.

Чувствительность датчика Pulse Sensor высока, из-за чего появляются помехи при измерении пульсовой волны. Частыми причинами возникновения помех является движение пациента, а также наложение белого шума. Для того чтобы отчистить график пульсовой волны от шумов, необходимо воспользоваться фильтрацией данных. Существует много различных алгоритмов, среди которых отмечают медианный фильтр трех точек и алгоритм скользящего среднего.

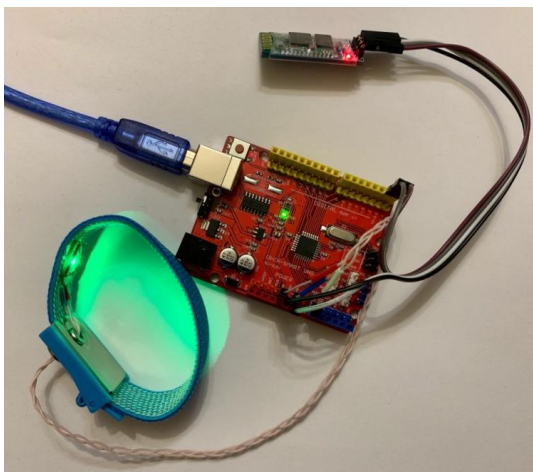


Рис. 1. Внешний вид аппаратной части информационно-измерительной системы

В данной работе последовательно применяются оба способа, что позволяет получить сглаженный сигнал с отфильтрованными «выбросами». Медианный фильтр пропускает среднее из трех значений. Основная идея такого фильтра – имеется некий буфер с несколькими значениями, из которых выбирается медиана.

Пример работы медианного фильтра третьего порядка показан на рис. 2.

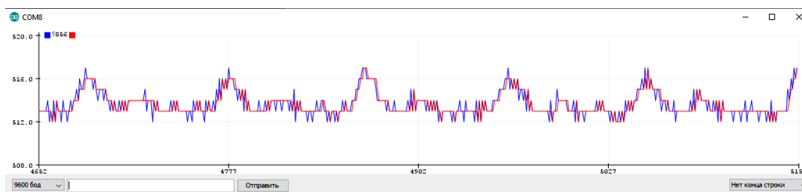


Рис. 2. Работа медианного фильтра третьего порядка

Экспоненциальное скользящее среднее подсчитывается путем суммирования предыдущего значения скользящего среднего и определенной доли текущего значения, потому больший вес имеют последние значения. В общем виде формула для расчета значения экспоненциального скользящего среднего представлена в формуле (1).

$$f = n \cdot k + f \cdot (1 - k), \quad (1)$$

где n – новое значение, k – коэффициент сглаживания от 0 до 1, чем меньше его значение тем больше влияние предыдущих значений на текущую величину среднего, f – старое значение. Значения k подбираются экспериментально.

На рис. 3 представлено сглаживание графика методом экспоненциального скользящего среднего.

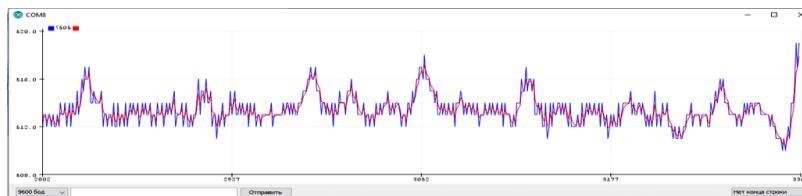


Рис. 3. Сглаживания графика методом скользящего среднего

Для наглядности на рис. 4 показано два графика: синий – данные без обработки, красный – данные с использованием сглаживания методом скользящего среднего.

Для того чтобы получить читабельный график без помех, отражающий только необходимые данные, рекомендуется применять оба способа фильтрации. Вначале убираем резкие скачки и падения графика с помощью медианного фильтра, а затем применяем к нему сглаживание простым скользящим средним.

На рис. 4 изображен результат последовательного применения фильтрации и сглаживания графика.

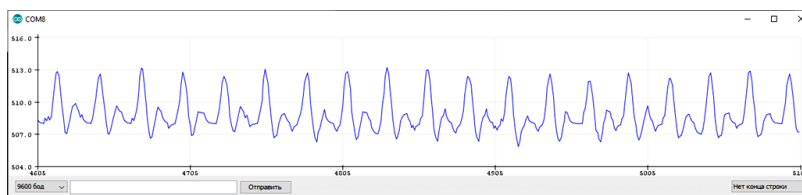


Рис. 4. Применение фильтрации и сглаживания данных

Отсеяв все шумы и помехи, благодаря фильтрации данных, график пульсовой волны приобрел вид, привычный для глаза и понятный для восприятия человеком, далее с такого графика будет производиться вычисление различных параметров, на основе которых можно проанализировать состояние человека.

Сведения об авторах

Бородина Наталия Вадимовна – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: natashka_0508@mail.ru

Федоров Андрей Борисович – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: pstufab@gmail.com

Е.В. Долгова, А.С. Барсуков

РАЗРАБОТКА ВНУТРИИГРОВОГО РЕДАКТОРА ПЕРСОНАЖА С ПОДДЕРЖКОЙ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ИГРОКА

Статья посвящена краткому описанию процесса разработки внутриигрового редактора персонажа с поддержкой трехмерной реконструкции облика реального игрока. Описаны требования к разработке. Сформирована структура разрабатываемого внутриигрового редактора персонажа. Произведено моделирование системы и ее подсистем. Произведен выбор инструментов разработки. Представлены результаты разработки прототипа внутриигрового редактора персонажа.

Ключевые слова: внутриигровой редактор персонажа, трехмерная реконструкция, параметры морфинга трехмерной модели, разработка компьютерных игр, трехмерная модель персонажа.

E.V. Dolgova, A.S. Barsukov

DEVELOPMENT OF AN IN-GAME CHARACTER EDITOR WITH SUPPORT OF THREE-DIMENSIONAL PLAYER RECONSTRUCTION

This article is devoted to a brief description of the process of developing an in-game character editor with support for three-dimensional reconstruction of the appearance of a real player. Development requirements are described. The structure of the in-game character editor being developed has been formed. The system and its subsystems were modeled. A selection of development tools has been made. The results of the development of a prototype of the in-game character editor are presented.

Keywords: in-game character editor, three-dimensional reconstruction, parameters of three-dimensional model morphing, game development, three-dimensional character model.

На данный момент большинство компьютерных игр активно используют внутриигровой редактор персонажей, который позволяет пользователю на основе существующих примитивов (лицо, глаза, нос, губы, уши и др.) придать своему герою индивидуальный облик, что усиливает погружение игрока в виртуальную среду [1]. По причине того, что разработка каждой модели состоит из множества этапов и занимает достаточно много времени, возникает задача минимизации расходов на эту работу, которая может быть решена за

счет использования внутриигрового редактора персонажа. Большинство существующих внутриигровых редакторов персонажа монолитны с игрой, т.е. не могут использоваться в других проектах, а также не предоставляют пользователю возможности создать героя, облик которого был бы крайне близок к облику играющего [2]. Именно поэтому возникает проблема разработки такой системы для игрового движка Unreal Engine 4, которая позволяла бы использовать ее в различных проектах и на основе снимков и изображений создавать игрового персонажа, внешне приближенного к облику реального игрока (производить трехмерную реконструкцию) с дальнейшей возможностью его индивидуализации. Также данная разработка могла бы найти применение не только в игровой индустрии, но и в сфере кинематографа, что позволило бы использовать трехмерные модели реальных людей для постановки сложных сцен и избежать использования каскадеров.

Среди систем-аналогов, представленных в официальном магазине Unreal Engine, можно выделить: Character Editor [3], Custome character Creator [4] и Universal Character Customization System [5]. Несмотря на достаточно богатый функционал некоторых из представленных внутриигровых редакторов персонажа, часть из них обладает достаточно высокой стоимостью и ни один из них не обладает инструментом трехмерной реконструкции реального игрока. Поэтому было решено разработать собственную систему внутриигрового редактора персонажа, которая в дальнейшем может быть использована в различных игровых проектах, а также поддерживать технологию трехмерной реконструкции.

Действия, которые должна выполнять разрабатываемая система, определяются функциональными требованиями, которые реализуются через ее функции:

- корректность отображения интерфейса;
- широкий спектр возможностей по управлению параметрами морфинга тела и лица игрового персонажа;
- возможность переноса лица игрока на трехмерную модель протагониста;
- управление процессом индивидуализации внешнего вида игрового персонажа (настройка одежды, анимации и т.д.);
- простота управления камерой относительно персонажа, а также его вращения;
- возможность тестирования протагониста на игровой локации.

Исходя из изучения структуры внутриигровых редакторов персонажа, представленных в статьях, была сформирована структура для собственной разработки, которая представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема модулей внутриигрового редактора персонажа

На основе структуры разрабатываемой системы была построена модель внутриигрового редактора персонажа, которая описывается уравнением (1).

$$M = \{P, M, C, S, A, I, L\}, \quad (1)$$

где P – множество моделей игрового персонажа; M – множество параметров морфинга; C – множество элементов одежды персонажа; S – множество состояний (положений) игрового персонажа; A – множество анимаций состояний игрового персонажа; I – множество элементов управления интерфейса; L – множество игровых уровней.

На основе статьи [6] была разработана математическая модель параметров морфинга трехмерной модели, представленная формулой (2). Данная модель позволяет синтезировать различные деформации трехмерной модели за счет изменения координат ключевых точек.

$$\begin{cases} X_{ij} = X_0(1 - \varphi_j) + X_1\varphi_j, \\ Y_{ij} = Y_0(1 - \varphi_j) + Y_1\varphi_j, \\ Z_{ij} = Z_0(1 - \varphi_j) + Z_1\varphi_j, \end{cases} \quad (2)$$

где X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij} – координаты точки в трехмерном пространстве, полученные в результате морфинга; X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j} – координаты точки в трехмерном пространстве для начального положения; X_{1j}, Y_{1j}, Z_{1j} – координаты точки в трехмерном пространстве для конечного положения; φ_j – степень вклада j -й формы в трансформированное положение вершины, $\varphi_j \in [0,1]$.

Для решения задачи трехмерной реконструкции лица в рамках внутриигрового редактора персонажа было решено использовать модель, предложенную авторами статьи [7] (рис. 2). Также для решения задачи трехмерной реконструкции лица были проанализированы другие методы, представленные в работе [8], которые справляются с поставленной задачей, но требуют дополнительного сложного оборудования либо больших вычислительных мощностей.

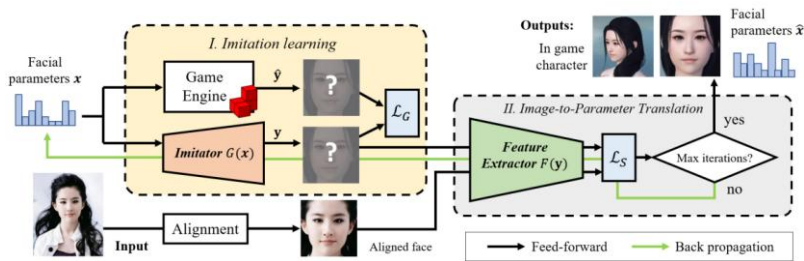


Рис. 2. Модель сверточной нейронной сети CNN для решения задачи трехмерной реконструкции лица

Для реализации системы внутриигрового редактора персонажа были использованы средства разработки, представленные в таблице.

Средства разработки

№ п/п	Средство разработки	Назначение
1	Unreal Engine 4	Разработка основной логики внутриигрового редактора персонажа
2	Daz 3D	Разработка трехмерных моделей игрового персонажа
3	Mixamo	Формирование анимаций игрового персонажа
4	GIMP	Разработка стилизованных элементов интерфейса

В итоге был разработан действующий прототип внутриигрового редактора персонажа, в котором пользователю предоставляются следующие возможности: создание и редактирование слотов сохране-

ний, настройка внешнего вида персонажа и тестирование персонажа на игровой сцене. На рис. 3 представлен скриншот интерфейса подсистемы управления слотами сохранений внутриигрового редактора персонажа. Данная подсистема позволяет создавать новые слоты сохранений, удалять сохранения, переименовывать слоты сохранений и перезаписывать их содержимое.



Рис. 3. Подсистема сохранений

Рис. 4 иллюстрирует подсистему настройки игрового персонажа, через которую пользователь может изменять параметры морфинга трехмерной модели персонажа для различных частей тела, производить выбор среди возможных моделей трехмерного персонажа, выбирать одежду игрового персонажа для различных частей тела, а также выбирать анимацию состояний персонажа.



Рис. 4. Система внутриигрового редактора персонажа

Настроенный игровой персонаж может быть протестирован в условиях непосредственного игрового процесса, где пользователь может перемещаться по игровой сцене. Для этого была разработана подсистема тестирования игрового персонажа, представленная на рис. 5.

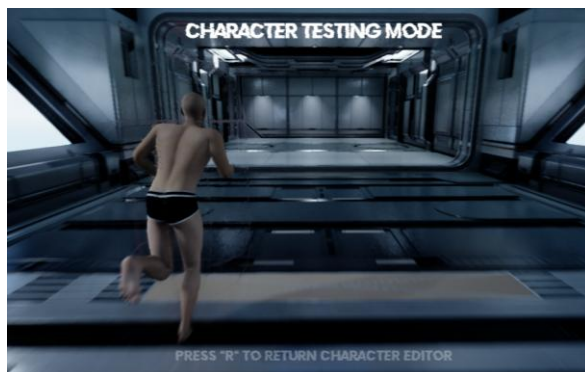


Рис. 5. Подсистема тестирования игрового персонажа

В процессе работы была описана задача разработки внутриигрового редактора персонажа с поддержкой трехмерной реконструкции игрока, проанализированы существующие решения, разработана модель системы, произведен выбор инструментов разработки.

В результате был разработан и протестирован действующий прототип внутриигрового редактора персонажа. Разработанная система позволяет ускорить процесс разработки игр, в которых требуется наличие внутриигрового редактора персонажа, за счет использования ее в качестве игрового модуля. В дальнейшем предполагается интегрировать модуль трехмерной реконструкции лица игрока для разработанного внутриигрового редактора персонажа. Разработанная система может быть улучшена за счет добавления дополнительного функционала, к примеру, реализация подсистемы выбора окраски одежды, выбора орудий, добавить подсистему навыков персонажа.

Библиографический список

1. Сергеевич Б.В. Идентичность геймера в виртуальном пространстве видеоигр // Вестник Томского государственного университета. – 2019. – № 446.

2. Игры с самыми продвинутыми редакторами персонажей. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/gamehata/igry-s-samymi-prodvinutymi-redaktorami-personajei-5ebd1c444857b67fc7ab43aa> (дата обращения: 24.05.2021).

3. Character Editor in Characters – UE Marketplace. – URL: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/character-editor> (дата обращения: 24.05.2021).

4. Custom Character Creator in blueprints – UE Marketplace. – URL: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/umorph-character-creator> (дата обращения: 24.05.2021).

5. Universal Character Customization System in blueprints – UE Marketplace. – URL: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/universal-character-customization-system> (дата обращения: 24.05.2021).

6. Алексеевич Б.А., Евгеньевна Г.Е., Александрович З.Д. Методы скелетной анимации для трансформации полигональных поверхностей трёхмерных моделей // Инженерный вестник Донаю. – 2012. – Т. 21, № 3. – С. 59–74.

7. Face-to-Parameter Translation for Game Character Auto-Creation / T. Shi, Y. Yuan, C. Fan, Z. Zou, Z. Shi, Y. Liu // arXiv:1909.01064 [cs]. – 2019.

8. Щеголева Н. Восстановление 3D поверхности лица. – Автономная некоммерческая организация Научное общество «Графикон», 2013. – С. 135–139.

Сведения об авторах

Долгова Елена Владимировна – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: elena@dolgova.info

Барсуков Андрей Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. АСУ2-19-1м, г. Пермь, e-mail: dron221297@gmail.com

А.В. Трусов, Д.В. Елисеев

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗИ
КЛАССИФИКАЦИОННЫХ УРОВНЕЙ
КЛАССИФИКАТОРОВ**

Исследуется порядок структуризации данных в рамках межотраслевой базы данных, используемой в информационных процессах взаимодействия субъектов в отраслях топливно-энергетического комплекса. Предлагается модель логической взаимосвязи классификационных уровней классификаторов для внесения информации о продукции импортозамещения в систему. Описывается каждый уровень модели и ее преимущества.

Ключевые слова: справочник, классификатор, модель логической взаимосвязи, топливно-энергетический комплекс, информационная система.

A.V. Trusov, D.V. Eliseev

**DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE RELATIONSHIP
OF CLASSIFICATION LEVELS OF CLASSIFIERS**

This article examines the order of data structuring within the framework of an intersectoral database used in the information processes of interaction of subjects in the fuel and energy complex industries. A model of the logical relationship of the classification levels of classifiers for entering information about import substitution products into the system is proposed. Each level of the model and its advantages are described.

Keywords: reference book, classifier, logical relationship model, fuel and energy complex, information system.

В информационных системах одними из наиболее важных аспектов являются формализация информации и возможность качественной и точной ее актуализации. Одной из таких информационных систем является автоматизированная информационная система мониторинга продукции импортозамещения топливно-энергетического комплекса (ТЭК) [1]. Для работоспособности и выполнения необходимых функций данной системой используется множество баз данных, в том числе проектируемая межотраслевая база данных «Технологии и проекты импортозамещения» (БД ТПИ). В рамках проектирования БД ТПИ уже были проведены исследования предметных об-

ластей и сформированы необходимые справочники и классификаторы для структуризации вносимой в базу информации [2]. Теперь на основании этих сформированных справочников и классификаторов для того, чтобы работа с данными в системе была понятной, последовательной, а информация, вносимая в нее, описывала изделия в соответствии с нормативно-правовыми и нормативно-техническими документами, необходимо создать целостную структуру системы классификации привязке продукции импортозамещения в автоматизированную информационную систему технологий и проектов импортозамещения (АИС ТПИ). Для этого построим модель информационной структуры, которая формируется по следующему логическому принципу:

- первый уровень – справочник «Отрасль ТЭК»;
- второй – справочник «Отраслевой приоритет»;
- третий – справочник «Класс продукции импортозамещения»;
- четвертый – справочник «Тип продукции».

Модель логической взаимосвязи классификационных уровней АИС ТПИ представлена на рисунке.

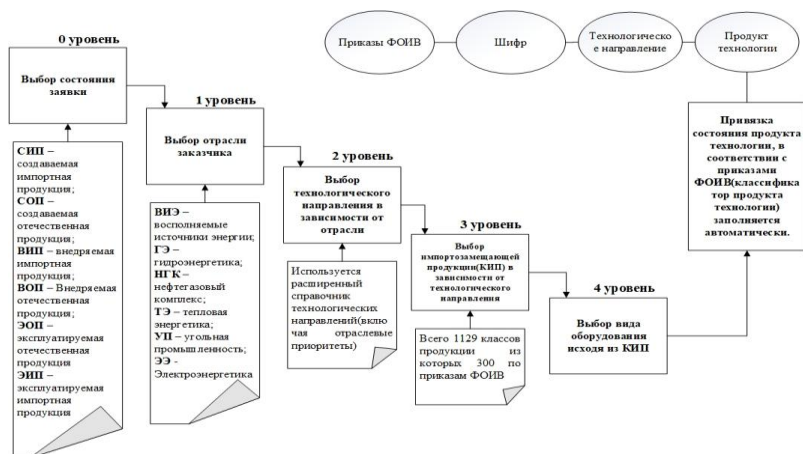


Рис. Модель логической взаимосвязи классификационных уровней АИС ТПИ

Исходя из предлагаемой модели перед тем, как начать заполнять информацию о продукции, необходимо на нулевом уровне выбрать состояние текущей заявки, которое может принимать шесть основ-

ных значений, в зависимости от происхождения продукции (отечественная или импортная), о которой вносится информация, и от того, на каком этапе находится данная продукция создается, внедряется или уже эксплуатируется.

На первом уровне на основании справочника «Отрасль ТЭК» происходит выбор отрасли заказчика нового оборудования. На данном этапе пользователю предлагается выбор из шести общепринятых отраслей энергетического комплекса. От выбора отрасли зависит последующая работа со справочниками и классификаторами на более низких уровнях, т.е. связь будет осуществлена только со справочниками и классификаторами, которые относятся к выбранной отрасли.

На втором уровне на основании справочника «Отраслевой приоритет» выбирается технологическое направление продукции. При этом список технологических направлений всегда зависит от выбранной ранее отрасли. На данном уровне используется расширенный справочник технологических направлений (включая отраслевые приоритеты). От выбора технологического направления также зависит возможность выбора на следующем уровне.

На третьем уровне на основании справочника «Класс продукции импортозамещения» в зависимости от выбранного технологического направления выбирается импортозамещающая продукция (КИП). В справочнике всего представлено 1129 классов продукции из которых 300 соответствуют приказам ФОИВ.

На четвертом уровне используется справочник «Тип продукции», и на его основе выбирается вид оборудования из КИП.

После прохождения всех уровней модели и заполнения общих данных о предприятии, которое инициирует данную заявку, происходит занесение информации по данной заявке в БД, и привязка состояния продукта технологии в соответствии с приказами ФОИВ, а именно в автоматическом режиме заполняется поле «продукт технологии», соответствующее ему технологическое направление, присваивается шифр и прикрепляются все относящиеся к данному продукту нормативно-технические и нормативно-правовые документы, в том числе приказы ФОИВ.

Таким образом, проведена модернизация целостной структуры системы классификации привязки продукции импортозамещения АИС ТПИ. При этом осуществлено приведение следующих классификаторов к единообразному стилю построения на основе целостной структуры системы классификации привязки продукции импортоза-

мещения: возобновляемые источники энергии; гидроэнергетика; теплоэнергетика; электроэнергетика; угольная промышленность; нефтегазовый комплекс.

Предлагаемая модель логической взаимосвязи классификационных уровней классификаторов АИС ТПИ позволяет от этапа к этапу вносить информацию о новом объекте техники и технологии и не задумываться о формулировках, так как они формализованы и представлены в виде форм и выпадающих списков. При таком подходе пользователю, который хочет создать заявку о новом объекте техники и технологии, предоставляется выбор и гибкая последовательность действий в рамках заранее сформированных шаблонов с общепринятой терминологией в области ТЭК.

Все это в совокупности позволит производителям и потребителям наиболее четко находить и классифицировать необходимые объекты техники и технологии импортозамещения, а также уменьшит затраты времени на данный процесс.

Библиографический список

1. Трусов А.В., Елисеев Д.В. Формирование системы классификации информационных объектов (объектов техники) в базе данных Технологии и проекты импортозамещения» // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика: сб. тр. XII Междунар. интернет-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Пермь, 2020. – С. 96–100.

2. Трусов А.В., Трусов В.А. Формирование единого информационного пространства научного и технологического прогресса развития отраслей ТЭК // Информация и инновации: сб. тр. конф. «Наукометрия и Библиометрия» 21–22 сентября 2017 г., г. Москва. Специальный выпуск. – М., 2017. – С. 123–126.

Сведения об авторах

Трусов Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, директор Пермского ЦНТИ – филиала ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, г. Пермь, e-mail: tav@permcnti.ru

Елисеев Дмитрий Викторович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-19-1м, г. Пермь, e-mail: dmitriy.elisvv@gmail.com

М.С. Долгих, Е.В. Середкина

**УМЕНЬШЕНИЕ СТЕПЕНИ АНТРОПОМОРФНОСТИ ВНЕШНЕГО
ВИДА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ PROMOBOT V.4
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
МЕЖДУ ЧЕЛОВЕКОМ И РОБОТОМ**

Исследуется проблема повышения эффективности взаимодействия между человеком и роботом за счет снижения степени антропоморфности «лица» роботизированной системы. Описываются теоретические принципы «прикладного антропоморфизма» (принцип асимметрии, принцип согласованности). Обосновывается концепция, согласно которой чрезмерный визуальный антропоморфизм при отсутствии поведенческой функциональности становится препятствием для человеко-машинного взаимодействия. Анализируется кейс, связанный с демонстрацией эмоций роботизированной системы, человекоподобные черты которой сведены к минимуму. В контексте вышеописанных теоретических положений демонстрируется возможный набор новых «эмоций» для роботизированной сервисной системы Promobot V.4.

Ключевые слова: взаимодействие человека и робота, сервисная робототехника, прикладной антропоморфизм, пользовательский интерфейс, визуальная коммуникация.

M.S. Dolgikh, E.V. Seredkina

**DEANTHROPOMORPHIZATION OF THE APPEARANCE
OF THE ROBOTIC SYSTEM PROMOBOT V.4 TO INCREASE
THE EFFICIENCY OF THE HUMAN-ROBOT INTERACTION**

This article examines the problem of how to establish a comfortable and long-term relationship between human and robot (Human-Robot Interaction, HRI) by reducing the degree of anthropomorphism of the "face" of a robotic system. The theoretical principles of "applied anthropomorphism" (the principle of asymmetry, the principle of consistency) are described. The concept is substantiated according to which excessive visual anthropomorphism while lacking in behavioral functionality becomes an obstacle to human-machine interaction. A case related to the demonstration of the emotions of a robotic system, the human-like features of which are minimized, is analyzed. In the context of the above theoretical provisions, a possible set of new "emotions" for the Promobot V.4 robotic service system is demonstrated.

Keywords: human-robot interaction, service robotics, applied anthropomorphism, user interface, visual communication.

Отличительной особенностью сервисных роботов является прямой контакт с человеком. В настоящее время установление комфортных и потенциально длительных отношений между людьми и роботами, повышение привлекательности робота для человека (пользователя) является актуальной задачей для разработчиков и производителей сервисных роботов. Подобные вопросы рассматриваются в рамках направления взаимодействия между человеком и роботом (Human-Robot Interaction, HRI). Это относительно новое междисциплинарное поле исследования, включающее в себя последние разработки в области робототехники, программирования, психологии, когнитивных наук, теории коммуникации и др.

В ходе проведенного анализа были выявлены два ключевых фактора, влияющих на успешность взаимодействия человека и робота: внешность робота и его поведенческий реализм. Далее будут описаны теоретические принципы, которые сформулированы и представлены в работах [3, 4].

Теоретические исследования показывают, что усиление хотя бы одного из этих факторов позволяет роботу достичь «социального порога»: люди начинают воспринимать его как социального агента. Другими словами, сильно антропоморфный робот может производить сильный социальный эффект, даже если его поведенческий реализм низкий, и, наоборот, правильные поведенческие шаблоны приводят к успешной антропоморфной проекции даже при полном отсутствии человеческой внешности.

Однако связь между этими двумя факторами кажется асимметричной: поведенческий реализм более важен, чем высокоантропоморфный внешний вид [1]. Когда робот достигает статуса социального агента только благодаря внешнему виду, похожему на человека, а его движения или поведение отсутствуют, возникает эффект «зловещей долины» [2]. Однако в противоположной ситуации, когда робот обладает низким уровнем антропоморфной внешности и высоким уровнем поведенческого реализма, эффективность взаимодействия человека с роботом повышается.

Таким образом, были сформулированы два принципа «прикладного антропоморфизма»:

– принцип асимметрии (поведенческий реализм важнее высокоантропоморфной внешности);

– принцип согласованности (внешний вид и поведение робота должны быть синхронизированы). Внешний облик робота не может опережать его поведенческие характеристики. Избыточность антропоморфной внешности при низком поведенческом функционале может стать барьером для эффективного взаимодействия между людьми и роботами.

Чтобы проиллюстрировать предложенную концепцию, рассмотрим график, представленный на рис. 1, который показывает зависимость эффективности взаимодействия робота и человека от уровня поведенческих возможностей и визуальной оценки сложности оснащения робота.

Понятие «визуальная оценка сложности оснащения робота» смежно с понятием «уровень антропоморфизма», поскольку высокий уровень антропоморфизма всегда сопровождается высоким уровнем визуальной оценки сложности оснащения.

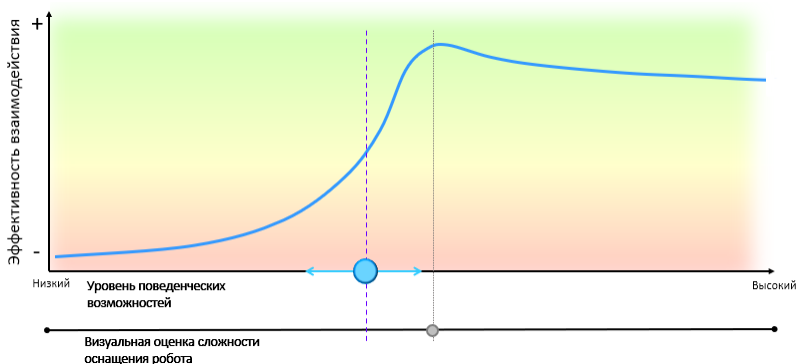


Рис. 1. График синхронизации поведения и внешнего вида робота

Пик вершины графика зависит от положения уровня визуальной оценки сложности оснащения робота. Эффективность взаимодействия представлена градиентным переходом от зелёного цвета к красному через жёлтый, где зелёный цвет символизирует высокую эффективность взаимодействия, а красный – низкую. Уровень эффективности взаимодействия определяется по тому, в какой зоне находится точка пересечения уровня поведенческих возможностей с графиком.

Уровень эффективности взаимодействия максимальный в том случае, когда уровень поведенческих возможностей находится на уровне визуальной оценки сложности оснащения робота.

Повышение эффективности взаимодействия робота и человека требует сокращения разрыва между уровнем поведенческих возможностей и уровнем визуальной оценки. Сокращение разрыва происходит как при увеличении уровня поведенческих возможностей, так и при уменьшении уровня визуальной оценки сложности оснащения робота.

Исследования, проведённые нашей командой, показывают, что пользователи, желающие расширить свой сценарий общения с роботом за пределы стандартных, почти сразу находят его реакции неудовлетворительными. В основном такая обратная связь вызвана неестественным поведением робота, т.е. низким уровнем поведенческих возможностей. Человеческая внешность (форма тела, способность двигать руками, частями корпуса, наличие анимированных черт лица и т.д.) непреднамеренно увеличивает ожидания относительно поведенческих способностей робота. Робот в его нынешнем техническом состоянии не способен оправдать высокие ожидания пользователя, что приводит к когнитивному диссонансу и неизбежному разочарованию.

Согласно описанному подходу можно предложить два варианта решения указанных проблем:

А. Понижение степени антропоморфности робота для соответствия поведенческому реализму.

Б. Повышение поведенческого реализма для согласования с внешним видом.

Для осуществления первого варианта была предложена идея изменения эмоций робота. Стандартный вид эмоции робота приведён на рис. 2.

Видно, что «эмоция» робота выражается с помощью бровей, губ, глаз, а также подвижных зрачков. При взаимодействии брови и губы робота двигаются неестественно. Зрачки и их движение создают впечатление, что робот смотрит не на собеседника, а мимо, временами же он смотрит по сторонам, что похоже на незаинтересованность в разговоре, как показано на рис. 3.

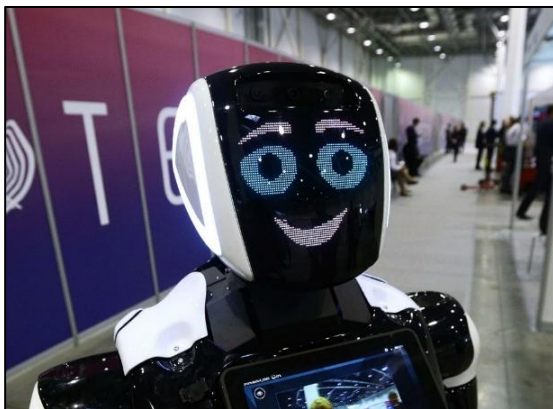


Рис. 2. Пример эмоции роботизированной системы Promobot V.4

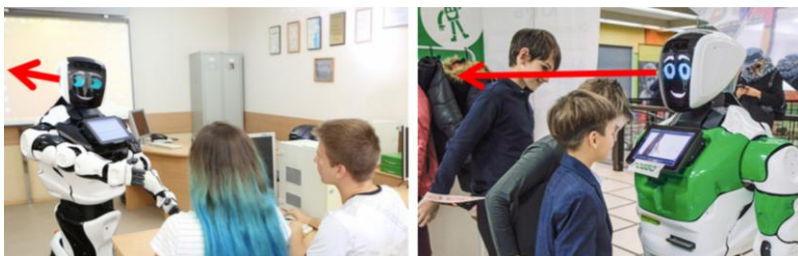


Рис. 3. Примеры ситуаций неестественного состояния стандартной эмоции

Брови, губы и зрачки – это признак более высокого антропоморфизма, чем в случае, если эмоция не обладает этими элементами. Оснащённое бровями, губами и зрачками лицо визуально сложнее, чем без них.

Теоретически возможно сократить разрыв между уровнем поведенческих возможностей и уровнем визуальной оценки, уменьшив визуальную оценку сложности оснащения, т.е. убрав признаки человеческого лица.

В кинематографе есть отличный пример демонстрации эмоций при низкой степени антропоморфизма «лица» робота. В мультфильме WALL-E представлен робот по имени Ева, который отлично демонстрирует свои эмоции исключительно за счёт глаз. Примеры эмоций приведены на рис. 4.

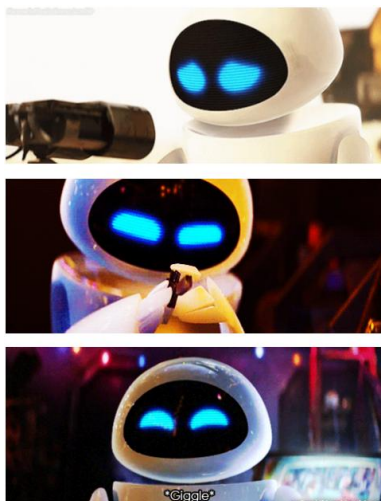


Рис. 4. Пример эмоции робота Евы

По этому же принципу успешно демонстрирует свои эмоции реально существующий производящийся робот-игрушка Cozmo, представленный на рис. 5.



Рис. 5. Внешний вид робота-игрушки Cozmo

Робот имеет широкий набор эмоций, который можно взять за основу при разработке кейса по деантропоморфизации визуального облика Promobot V.4. Часть эмоций приведена на рис. 6.

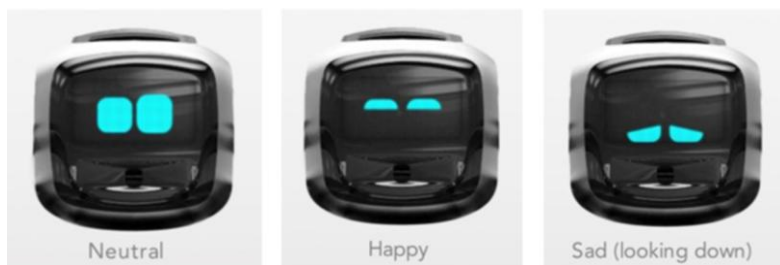


Рис. 6. Эмоции робота Cozmo

Безусловно, роботизированная система Promobot V.4 выглядит более серьезно и солидно, чем вышеупомянутые роботы. В этой связи можно обратиться к фильмам и мультфильмам, где изображены роботы не в форме милых игрушек. На рис. 7 демонстрируются «лица» роботизированных систем из фильмов «Трансформеры», «Стальной гигант» и «Робот по имени Чаппи».



Рис. 7. Примеры «лиц» роботов из фильмов

«Лицо» роботизированной системы Promobot V.4, предназначенное для демонстрации эмоций, представляет собой полноцветную RGB-матрицу с разрешением 64×64 пикселя, которая отображает «эмоции» в зависимости от получаемой информации.

«Эмоции» роботизированной системы Promobot V.4 представлены в виде цикличной последовательности нескольких статичных кадров.

В будущем планируется разработать набор новых «эмоций» для роботизированной системы Promobot V.4 с целью сведения к минимуму человекоподобных черт «лица». Понижение степени антропоморфности Promobot V.4 поможет согласовать его внешний вид с поведенческими паттернами, что позволит повысить эффективность взаимодействия между человеком и роботом.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 20-411-590002 p_a_Пермский край.

Библиографический список

1. Damiano L, Dumouchel P. Anthropomorphism in Human–Robot Co-evolution. – Front. Psychol, 2018. – URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00468> (дата обращения: 26.05.2021).
2. Mori M. The uncanny valley. – Energy 1970. – № 7. – С. 33–35.
3. Середкина Е.В. Философские основания прикладного антропоморфизма в социальной робототехнике. – Технологос. – 2020. – № 4. – С. 56–63.
4. Середкина Е.В., Безукладников И.И., Долгих М.С. Прикладной антропоморфизм в сервисной робототехнике. – Пермь: Perm University Press, 2020. – С. 223–227.

Сведения об авторах

Долгих Михаил Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСР-20-1м, г. Пермь, e-mail: mikh.dolgikh@gmail.com

Середкина Елена Владимировна – кандидат философских наук, доцент кафедры «Философия и право» Пермского национального исследовательского политехнического университета, руководитель человеко-машинного взаимодействия компании «Промобот», г. Пермь, e-mail: elena_seredkina@pstu.ru

А.В. Тарутин, П.В. Богданов

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ SAP ERP

Рассматриваются технологии реализации веб-приложений на платформе SAP ERP. На основе сервера SAP Web Application Server и приложений Business Server Pages можно создать веб-приложение, используя нативный HTML, технологию SAP Web Dynpro или технологию SAP Fiori. Описаны особенности каждой из трех технологий и приведена таблица сравнения.

Ключевые слова: SAP ERP, веб-приложение, мобильное приложение, HTML, SAP Web Dynpro, SAP Fiori.

A.V. Tarutin, P.V. Bogdanov

COMPARISON OF APPROACHES TO IMPLEMENTATION OF A WEB APPLICATION ON THE SAP ERP PLATFORM

This article discusses technologies for implementing web applications on the SAP ERP platform. Based on the SAP Web Application Server and Business Server Pages applications, you can create a web application using native HTML, SAP Web Dynpro technology, or SAP Fiori technology. The features of each of the three technologies are described and a comparison table is given, a conclusion is made.

Keywords: SAP ERP, web application, mobile application, HTML, SAP Web Dynpro, SAP Fiori.

В настоящее время предпочтительным инструментом для доступа к современным, особенно мобильным, приложениям, как правило, является браузер. Принцип очень простой – браузер доступен на каждом компьютере, даже на мобильных устройствах. В связи с постоянно растущими требованиями мобильных пользователей предприятия сегодня не только хотят, но и должны учитывать возможность мобилизации существующих и новых процессов.

Рассмотрим способы реализации отчетов и транзакционных приложений для браузера на базе современной ERP-системы SAP S4/HANA.

В первую очередь для работы веб-приложения требуется веб-сервер, функции которого в SAP ERP выполняет встроенный компонент SAP Web Application Server. На платформе SAP Web Application

Server разрабатываются BSP (Business Server Pages) приложения. Любое приложение может состоять:

- из статических веб-страниц;
- динамически генерируемых веб-страниц, которые содержат сценарии, выполняющиеся на стороне сервера и формирующиеся только по запросу клиента в течение времени работы сервера приложений;
- MIME объектов, которые включают в себя графику, символы, звуковые файлы и таблицы стилей, которые могут быть включены в веб-страницы.

На платформе BSP-приложений возможно публиковать нативные HTML-страницы с JavaScript сценариями и таблицами стилей, но реализация таких страниц в больших объемах очень трудоемка. Очевидно, для решения бизнес-задач необходимы высокоуровневые инструменты, позволяющие генерировать HTML-код, JavaScript-код, таблицы стилей. В качестве таких инструментов SAP предлагает SAP Web Dynpro (2004) [1] и SAP Fiori (2013) [2].

SAP Web Dynpro – это стандартная технология SAP UI, которая позволяет разрабатывать веб-приложения с использованием графических инструментов и среды разработки, интегрированной с рабочей средой ABAP.

Приложения Web Dynpro основаны на схеме MVC, которая включает в себя:

- модель (Model), которая позволяет получить доступ к внутренним данным в приложении Web Dynpro;
- просмотр (View), который используется для обеспечения представления данных в веб-браузере;
- контроллер (Controller) – используется для управления связью между моделью и представлением, где он принимает данные от пользователей, получает данные о процессах из модели и отображает данные в браузере.

Разделение приложений на такие компоненты помогло выделить многократно используемые модули, объединить их в библиотеки и предложить разработчикам инструментарий для быстрого создания приложений. Благодаря Web Dynpro разработчику не обязательно описывать стилевые таблицы, механику запросов к серверу и т.д. Внешний вид примитивного приложения Web Dynpro представлен на рис. 1.

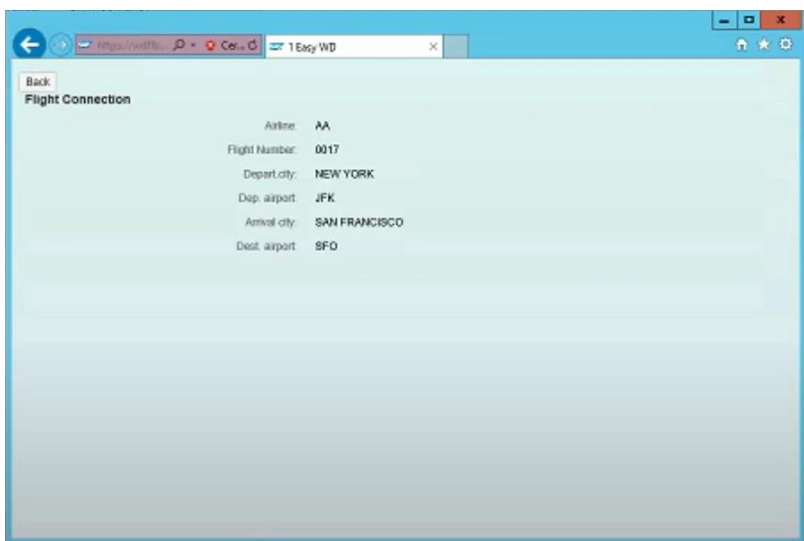


Рис. 1. Web Dynpro приложение

Web Dynpro приложения запускаются в браузере, поэтому их можно использовать и на мобильных устройствах, однако на момент выхода на рынок Web Dynpro (2004 г.) мобильные устройства с доступом в Интернет ещё не были распространены и, как показала практика, в технологии не учитывались особенности и современные требования к веб-приложениям. Основным недостатком можно считать отсутствие или неудовлетворительную реализацию адаптации к разным размерам экрана, которая сегодня является стандартной для смартфонов и планшетов. Приложения на мобильных устройствах выглядят не так, как в браузере, а некоторые элементы интерфейса вообще не работают.

SAP Fiori – это новый пользовательский интерфейс (UI) для программного обеспечения и приложений SAP, основанный на библиотеках SAP UI5. SAP Fiori на сегодняшний день предлагает несколько типовых интерфейсов:

- list report – перечень бизнес-объектов в виде таблицы с набором инструментов настройки фильтрации, сортировки, группировки, выбора атрибутов для отображения, поиском и возможностью создания новых и редактирования или удаления существующих бизнес-объектов;

– work list – перечни бизнес-объектов в виде таблиц, размещенных на нескольких вкладках с набором инструментов настройки фильтрации, сортировки, группировки, выбора атрибутов для отображения;

– object page – страница для просмотра и редактирования атрибутов бизнес-объекта;

– overview page – обзорная страница бизнес-объекта с информацией, представленной в виде плиток;

– analytical page – страница, адаптированная для просмотра аналитической информации по набору объектов.

Узкий ассортимент интерфейсов позволил существенно облегчить разработку лицевой (frontend) части приложения. В то же время, решая практические задачи, можно убедиться, что предложенные шаблоны интерфейсов закрывают все потребности. Внешний вид SAP Fiori приложения представлен на рис. 2.

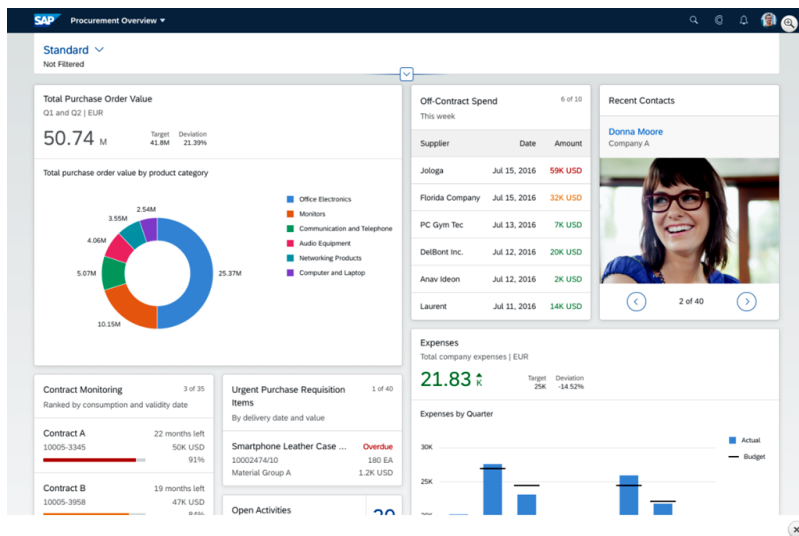


Рис. 2. SAP Fiori приложение

Сравним предложенные подходы к разработке веб-приложений в таблице.

Сравнение подходов к разработке веб-приложений

Показатель	Нативный HTML	SAP Web Dynpro	SAP Fiori
Унификация пользовательских интерфейсов	Требует регламента	Да	Да
Повторное использование кода	Требует регламента	Да	Да
Квалификация разработчиков	Высокая	Средняя	Средняя
Трудозатраты на разработку приложений	Максимальные	Средние	Минимальные
Удобный доступ с мобильных устройств	Да	Нет	Да

В результате сравнения предложенных подходов к реализации веб-приложений понятно, что SAP Fiori как актуальная технология, предложенная SAP, перспективнее аналогов по ряду качеств и должна использоваться для любых веб-приложений на платформе SAP ERP.

Библиографический список

1. Web Dynpro ABAP // SAP Help Portal. – URL: https://help.sap.com/saphelp_snc700_ehp01/helpdata/en/77/3545415ea6f523e10000000a155106/frameset.htm (дата обращения: 30.05.2021).
2. Продукты SAP Fiori // Официальный сайт SAP. – URL: <https://www.sap.com/cis/products/fiori.html> (дата обращения: 15.04.2021).

Сведения об авторах

Тарутин Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

Богданов Павел Васильевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-16-1бз, г. Пермь, e-mail: pavelbog@mail.ru

**А.Л. Погудин, А.Н. Ачинцев,
К.Л. Некрасов, А.С. Иванова**

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрена имитационная модель построения автоматизированной системы по сбору и обработке технологической информации.

Ключевые слова: автоматизированная система, имитационная модель, технологическая информация.

**A.L. Pogudin, A.N. Achintsev,
K.L. Nekrasov, A.S. Ivanova**

DEVELOPMENT OF AN IMITATION MODEL OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR GATHERING AND PROCESSING TECHNOLOGICAL DATA

This article discusses a simulation model for building an automated system for collecting and processing technological information.

Keywords: automated system, simulation model, technological information.

В связи с большими объемами потребления человечеством ресурсов возник вопрос экономии используемых ресурсов и обеспечения контроля потребляемых энергоресурсов. Мировая и отечественная практика показала, что наиболее эффективным выходом из сложившегося положения является проведение мероприятий по оптимизации потребления энергетических ресурсов на объектах отрасли. Решить эту задачу, как подсказывает опыт, можно благодаря внедрению современных систем диспетчеризации объектов.

Для данных целей были изобретены приборы учета, которые используются как в повседневной жизни человека, так и на крупных производствах. Приборы учета предназначены для измерения и регистрации параметров различных величин, получаемых от первичных преобразователей.

Существуют готовые решения устройств и приборов, выполняющих функции измерения параметров энергоресурсов, в частности электроэнергии.

Самые лучшие из них далеко превосходят возможности обычных измерительных приборов, а самые экономичные решения часто удивляют шириной их потенциальных приложений.

Стоят они, как правило, от нескольких десятков тысяч до нескольких сотен тысяч рублей в зависимости от предлагаемых возможностей. Из-за большой стоимости таких устройств, можно сделать вывод о необходимости разработки нового устройства по сбору и передаче данных (УСПД).

Для измерения потребляемых ресурсов используются «умные» приборы учёта, использующие стандарт RS-485 для передачи данных по витой паре проводов к разрабатываемому устройству сбора и передачи данных. Для разрабатываемой системы были выбраны приборы учёта электроэнергии, потребляемой воды и природного газа.

Счётчик электроэнергии должен обладать интерфейсом связи RS-485, иметь низкую стоимость, способ монтажа на DIN-рейку, а также иметь класс точности не ниже 1. Исходя из поставленных требований был выбран счётчик Меркурий-230ART-02 RN 10-100A 380B RS485.

Счётчик расхода газа должен иметь рабочее давление не ниже 5 кПа, обладать интерфейсом связи RS-485 и иметь низкую стоимость. Был выбран счётчик потребления природного газа СГМБ-3.2 с импульсным выходом.

Счётчик измерения потребляемого расхода воды, проходящего по водопроводу, должен обладать интерфейсом связи RS-485, иметь максимальное рабочее давление не ниже 10 бар, минимальную стоимость, класс точности не ниже В и погрешность не больше 1 %. Исходя из этих условий был выбран счётчик компании «ТЕПЛОДО-ХРАН» «Пульсар» универсальный с RS485.

Разработка модели. Основная функция разрабатываемой системы – автоматизация процесса сбора и передачи технологической информации с узлов учета электроэнергии, водоснабжения и природного газа для последующего коммерческого учета, а также оповещение о температуре внешних теплоносителей и наличии протечек газа.

Разрабатываемая система состоит из двух подсистем – устройства сбора и передачи данных, ЭВМ для хранения базы данных.

Устройство сбора и передачи данных представляет собой контроллер, к которому подключается прибор учета электроэнергии, водоснабжения и природного газа. Устройство должно иметь выход в Интернет, для передачи данных, собранных с прибора учета.

Система должна обладать возможностью модернизации для увеличения количества приборов учета, а также добавления других типов приборов. Также система должна обладать интерфейсами Ethernet, RS-485.

Устройство сбора и передачи будет выполнять следующие функции: сбор данных с приборов учета; хранение данных с приборов учета; отправка по таймеру данных на ЭВМ с СУБД по технологии передачи данных Ethernet.

Для обеспечения работы платы, обработки полученных данных с датчиков, а также управления интерфейсами необходимо наличие микроконтроллера, который брал бы на себя поставленные задачи. Для взаимодействия с датчиками температуры и давления необходимы соответствующие цепи, подключающие данные датчики к входам АЦП микроконтроллера. Для взаимодействия с расходомерами и влагомерами необходимы цепи сопряжения со счетчиком, подключенные к входам микроконтроллера. Кроме того, необходим источник питания, обеспечивающий зарядку микроконтроллера и основных узлов платы. Также данный источник должен обеспечивать питанием датчики, по интерфейсу токовая петля. Также необходимо предусмотреть интерфейс для взаимодействия с данной платой, чтения архивов полученных данных и изменения конфигурации устройства. Необходимо наличие дополнительной памяти для хранения информации. Для вывода данных необходимо наличие дисплейного модуля, выполняющего отображение меню и вычисляемых величин на экран LCD.

Для взаимодействия с пунктами меню на дисплее необходимо наличие управляющих кнопок. Результатом проведенного анализа является структурная схема, приведенная на рис. 1.

После анализа и построения структурной схемы составим принципиальную электрическую схему устройства, которая показывает полные электрические и электромагнитные связи элементов объекта, а также параметры компонентов, составляющих объект, изображённый на схеме.

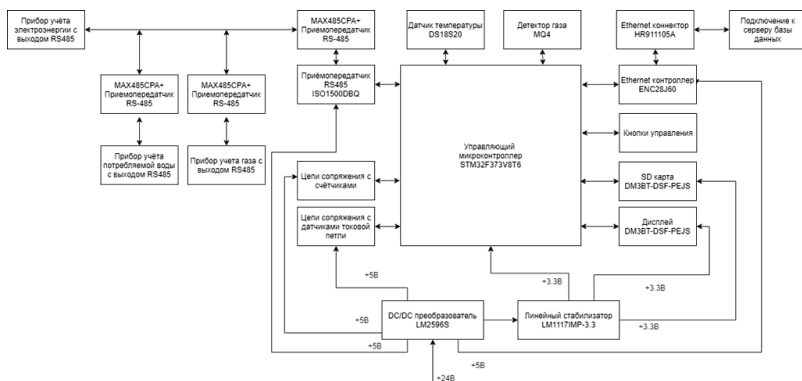


Рис. 1. Структурная схема системы

Следующим этапом станет разработка устройства для сбора и передачи данных, со всеми сопутствующими элементами для сбора и передачи технологической информации.

После анализа САПР было сделано решение выбрать Altium Designer 21 в качестве среды для разработки, так как имеется опыт работы с данной системой, а также крупная библиотека элементов, уже подготовленных для работы в Altium Designer 21. Благодаря огромной популярности для данной среды разработки в Интернете накопился большой объем информации по примерам работы в системе, также составлены учебные пособия, что сильно упростит разработку печатной платы.

На сегодняшний день с большинством компонентов поставляется хороший комплект документации, который содержит не только параметры микросхемы или блока и формулы для расчета внешних элементов, но и типовые схемы включения. Поэтому разработка принципиальной схемы устройства будет сводиться фактически к замене блоков функциональной схемы соответствующими типовыми схемами. К уникальным схемотехническим решениям, присутствующим в данной разработке, можно отнести следующие узлы:

- схему входных цепей датчиков токовой петли;
- схемы входных цепей счетчика;
- схему интерфейса RS-485.

Остальные узлы являются типовыми схемами включения соответствующих микросхем.

Перед непосредственным производством опытного образца было принято решение проверить алгоритм расчёта параметров технологической информации. Для моделирования работы алгоритма расчёта показателей технологических параметров, таких как затраченные активная, реактивная и полная энергии, активная, реактивная и полная мощности, ток в сети, напряжение, коэффициент мощности, температура в помещении, уровень потока горячей, холодной вода и газа, была выбрана программа схемотехнического моделирования Proteus, а прототип самой АС УТИ будет построен на базе платы Arduino Mega 2560.

Общий вид схемы представлен на рис. 2, где представлены следующие элементы: плата Arduino Mega 2560; симуляция фазы электрической сети; датчик температуры и симуляция сигналов с датчиков потока воды и газа; lcd-дисплей, терминал и часы реального времени; SD-карта.

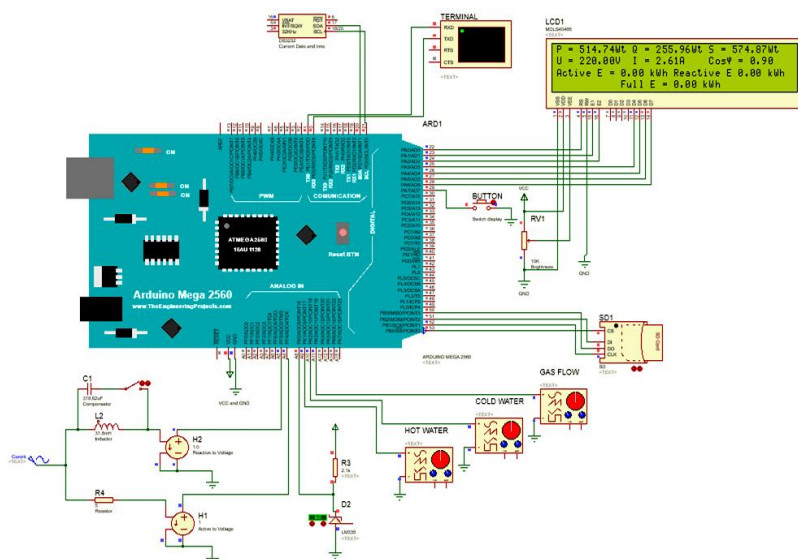


Рис. 2. Общий вид схемы в Proteus

Arduino Mega построена на микроконтроллере ATmega2560. Плата имеет 54 цифровых входа/выхода (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц, USB коннектор,

разъем питания, разъем ICSP и кнопка перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB или подать питание при помощи адаптера AC/DC или аккумуляторной батареей. В данном случае питание происходило от источника питания на 5 В, а к выходу GND был подключён вывод на землю. Симуляция фазы и питание платы представлены на рис. 3.

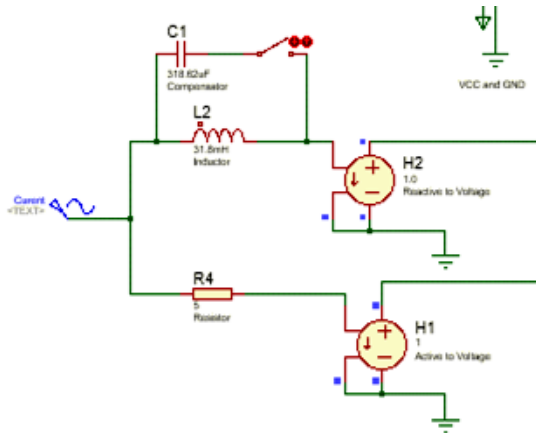


Рис. 3. Симуляция фазы и питание платы

Для симуляции фазы был выбран источник тока (Current). Данный источник выдаёт переменный синусоидальный ток величиной в 1 А, частотой 50 Гц и со сдвигом по фазе 0.

Для симуляции нагрузки здесь представлены резистор (R4) и катушка индуктивности (L2), которые симулируют активную и реактивную нагрузку соответственно. Резистор имеет сопротивление 5 Ом. Катушка имеет индуктивность 31,8 мГн, что соответствует нагрузке в 10 Ом. Также для компенсации индуктивной нагрузки здесь имеется конденсаторная, представленная конденсатором (C1) и ключом для включения или выключения компенсатора.

Поскольку плата Arduino Mega может считывать только напряжение на аналоговых, после нагрузки стоят два источника напряжения, управляемых током H2 и H1, для реактивной и активной нагрузки соответственно. Они выдают переменное напряжение той же величины в 1 В, той же частоты, а также с тем же сдвигом по фазе. После чего их выходы подключаются к аналоговым портам платы и с них считывается сигнал по методике [1].

Датчик температуры и симуляция потоков холодной и горячей воды и газа представлены на рис. 4. Для симуляции данных с датчика температуры был выбран датчик LM335. Он позволяет задавать аналоговый сигнал, который соответствует установленной на нём температуре.

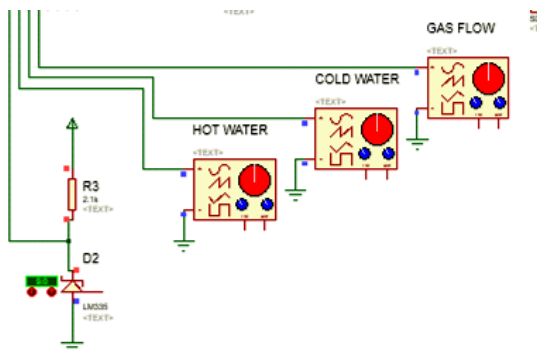


Рис. 4. Датчик температуры и генераторы сигналов

Он может установить температуру с шагом в 1 °C. Для его корректной работы здесь подключены его питание, резистор на 2,1 кОм, а также выход на землю. Обработка сигнала с датчика представлена в листинге [2].

Для симуляции данных с датчиков потока газа, холодной и горячей воды, были использованы генераторы сигналов GAS FLOW, COLD WATER и HOT WATER соответственно. Данные генераторы позволяют выдать сигнал разной формы, в данном случае синусоидальной, задать частоту сигнала, в данном случае это 100 Гц, амплитуду сигнала, в данном случае это 10 мВ, уровень амплитуды сигнала, который соответствует уровню расхода, а также параметр Centre, который позволяет более плавно задавать частоту. Также этот генератор позволяет задать полярность, здесь это биполярный сигнал.

Параметры генератора представлены на рис. 5. LCD-дисплей, терминал и часы реального времени DS3232 представлена на рис. 6.

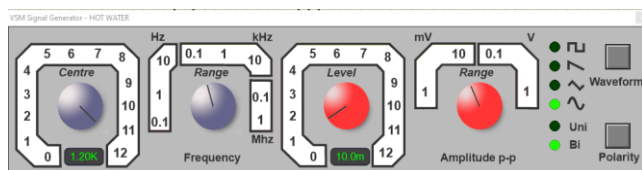


Рис. 5. Параметры генератора сигнала потока горячей воды HOT WATER

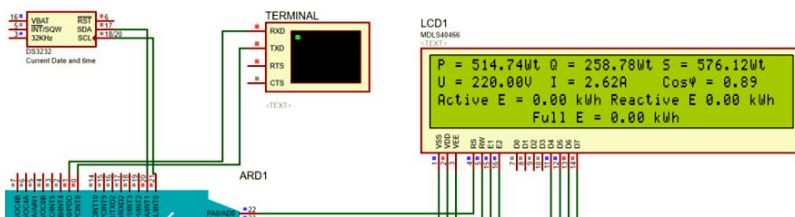


Рис. 6. LCD-дисплей, терминал и DS3232

В качестве дисплея была выбрана модель MDLS40466. Этот дисплей имеет разрешение 40×4 , т.е. 4 строки и 40 столбцов. Данный дисплей также подключён к системе управления подсветкой, что при использовании реальных дисплеев позволяет корректировать уровень их подсветки и продлить жизнь дисплея. Здесь она представлена в виде реостата на 10 кОм, который подключен к выходу VSS дисплея, источника питания для дисплея VCC, подключенного к порту VDD дисплея, и выхода на землю GND, подключенного к выходу и VEE. Обработка вывода параметров системы представлена в листинге [4].

Для переключения режима вывода (электрические параметры/параметры воды, газа и температуры) здесь имеется кнопка BUTTON. При её нажатии дисплей меняет режим вывода. Обработка нажатия кнопки представлена в листинге [5].

Также для отладки к плате подключён терминал (TERMINAL), имитирующий COM порт платы.

Для того чтобы можно было вывести дату и время при записи данных на SD-карту, здесь имеются часы реального времени DS3232. В качестве параметра они принимают системное время компьютера. Обработка и получение данных представлены в листинге [6]. SD-карта представлена на рис. 7.

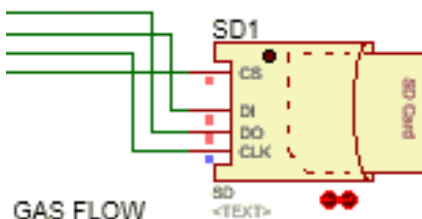


Рис. 7. SD-карта

В Proteus также имеется симуляция работы SD-карты. В данном случае эта SD-карта имеет 16 Мбайт памяти. А также для неё необходимо задать некоторый image-файл. Обработка записи данных на SD-карту представлена в листинге [7, 8].

Заключение. Была произведена разработка структурной схемы платы подсистемы учета потоковых параметров газа. Была выбрана среда разработки для построения схем и разводки платы. Также был произведен выбор компонентов, использованных при построении данной платы, разработана функциональная, принципиальная электрическая схема устройства.

Был описан процесс изготовления платы устройства сбора и передачи технологической информации. Был произведен выбор типа монтажа, типа платы, а также определены класс точности и основные габариты печатной платы. Произведен конструкторско-технологический расчет печатной платы, а также электрический расчет. Кроме того, проанализирована технологичность и надежность разработанной платы. Разработан эскизный вариант исполнения корпуса.

Библиографический список

1. Универсальный контроллер МИКОНТ-186 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.micont.ru/mic_contr186.html (дата обращения: 17.05.2017).
2. ОПЛК, серия Vision350 с цветной панелью [Электронный ресурс]. – URL: http://tekhar.com/Programma/Unitronics/pdf_pict/8-9.pdf (дата обращения: 17.05.2017).
3. Контроллеры измерительные для учета газа TREI-5B-GAS [Электронный ресурс]. – URL: <http://trei.biz/systems/trei-5b-gas.html> (дата обращения: 19.05.2017).
4. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК100 - Технические характеристики [Электронный ресурс]. – URL: http://www.owen.ru/catalog/programmruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk_100/11525178 (дата обращения: 19.05.2017).
5. Счетчик газа ультразвуковой «ГОВОЙ-1» [Электронный ресурс]. – URL: <http://s-gaza.ru/catalogue/consum/facilities/041/> (дата обращения: 22.05.2017).
6. Прибор вторичный теплоэнергоконтроллер ИМ2300 [Электронный ресурс]. – URL: <http://okbmayak.perm.ru/main.php?page=3&id=3> (дата обращения: 22.05.2017).

7. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014.

8. Денисенко В.В. Интерфейс «токовая петля» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter2_4.aspx (дата обращения: 07.02.2017).

Сведения об авторах

Погудин Андрей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: pogudin_al@mail.ru

Ачинцев Александр Николаевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭВТ-17-16, г. Пермь, e-mail: achints@yandex.ru

Некрасов Кирилл Леонидович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭВТ-17-16, г. Пермь, e-mail: NekrasovKL@yandex.ru

Иванова Анна Сергеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ6-19-1м, г. Пермь, e-mail: lady.annaivanova@yandex.ru

А.В. Трусов, В.Д. Ветрова

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНЫХ СХЕМ КРИТЕРИЕВ
РАНЖИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ,
ВОЗМОЖНЫХ К ПРИМЕНЕНИЮ В ОТРАСЛЯХ ТЭК**

Исследуются критерии ранжирования, в основе которых лежат нормативно-правовые документы. Структурные схемы данных критериев позволяет наглядно увидеть отнесение объектов техники (технологии) к современным высокотехнологичным технологиям, возможным к применению в ТЭК.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, уровень критичности, объект техники, научно-технологическое развитие, наилучшие доступные технологии.

A.V. Trusov, V.D. Vetrova

**DEVELOPMENT OF STRUCTURAL SCHEMES
OF CRITERIA FOR RANKING OBJECTS OF EQUIPMENT
AND TECHNOLOGIES THAT CAN BE USED
IN THE FUEL AND ENERGY SECTOR**

This article examines the ranking criteria that are based on regulatory documents. Structural schemes of these criteria allow you to clearly see the attribution of equipment (technology) objects to modern high-tech technologies that can be used in the fuel and energy sector.

Keywords: fuel and energy complex, level of criticality, object of technology, scientific and technological development, the best available technologies.

Существует множество факторов, которые влияют на разработку критериев отнесения объектов техники (технологий) к инновационным перспективным технологиям, возможным к применению в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) России. Значительным фактором является следующий: технологии должны вносить существенный вклад в решение стратегических задач, стоящих перед ТЭК. Также учитывается увеличение эффективности технологических процессов и различных экономических показателей.

Новые показатели и критерии отбора появляются вследствие инновационного развития технологий и их непрерывной модернизации. И количественные, и качественные показатели являются основой для

критериев отнесения современных объектов техники (технологий) в отраслях ТЭК [1].

Самым значительным критерием является соответствие прогнозу научно-технологического развития отраслей ТЭК. Критерий берет в основу нормативно-правовой акт «Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 г.». На рис. 1 отображена структурная схема данного критерия.

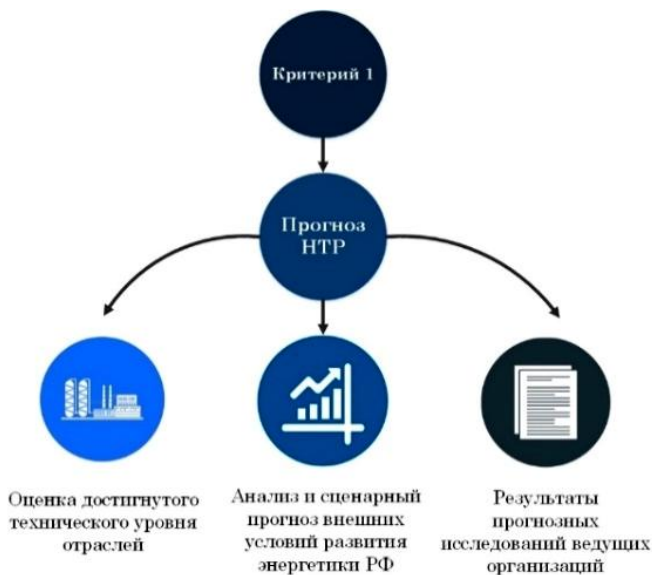


Рис. 1. Структурная схема критерия «Соответствие прогнозу НТР отраслей ТЭК России на период до 2035 г.»

Второй критерий основывается на Указе Президента [2]. На рис. 2 отображена структурная схема данного критерия.

Критерий «Соответствие перечню наилучших доступных технологий в ТЭК» реализует требования федерального закона, регламентирующего охрану окружающей среды, и постановления Правительства РФ [3], критерий учитывает сформированный реестр наилучших доступных технологий, который утвержден Росстандартом по наилучшим доступным технологиям в отраслях ТЭК с помощью информационно-технических справочников. На рис. 3 отображена структурная схема данного критерия.

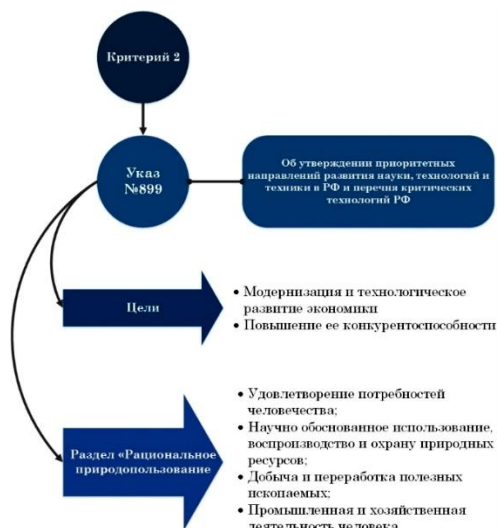


Рис. 2. Структурная схема критерия «Соответствие приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ»



Рис. 3. Структурная схема критерия «Соответствие перечню наилучших доступных технологий в ТЭК»

Оценка по критерию «Соответствие перечню высокотехнологичной продукции, работ и услуг, утвержденному приказом Минпромторга России от 23 июня 2017 г. № 1993» проводится исходя из соответствующего документа. Приказ содержит реестр высокотехнологичной продукции, услуг (работ) в зависимости от направлений модернизации экономики России, которые являются приоритетными. На рис. 4 отображена структурная схема данного критерия.

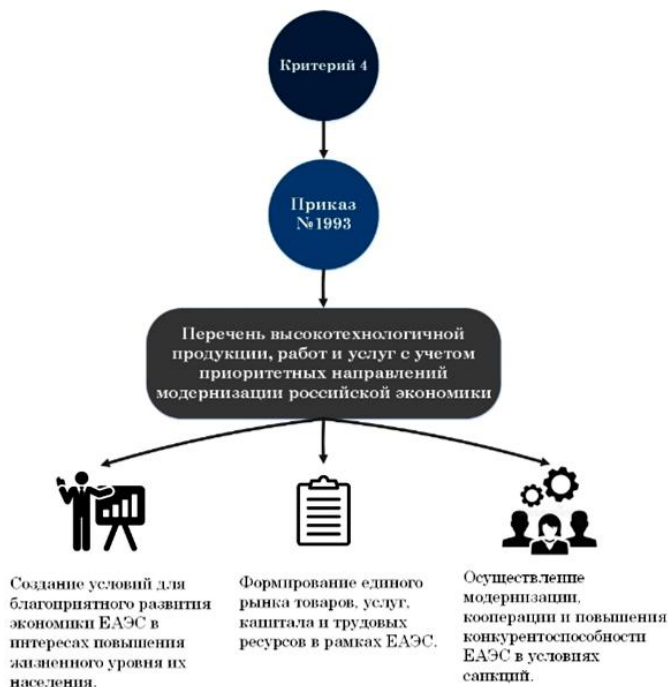


Рис. 4. Структурная схема критерия «Соответствие перечню высокотехнологичной продукции, услуг (работ)»

Следующий критерий «Соответствие технологическим направлениям технологий, указанным в отраслевых планах импортозамещения» основывается на документе, содержащем план содействия импортозамещению в промышленности, утвержденном распоряжением Правительства РФ от 30 сентября 2014 г. №1936-р, формирует отраслевые планы импортозамещения. На рис. 5 отображена структурная схема данного критерия.



Рис. 5. Структурная схема критерия «Соответствие технологическим направлениям, указанным в отраслевых планах импортозамещения»

Критерий «Соответствие технологиям и продукции, указанным в корпоративных планах импортозамещения госкомпаний ТЭК» основывается на документе [4]. На рис. 6 отображена структурная схема критерия.

Анализ сравнения технико-экономических показателей зарубежной продукции и отечественных аналогов необходим при проектировании плана импортозамещения. Эти действия реализуют возможность отнести рассматриваемый объект к перспективной высокотехнологичной продукции.

Оценка объекта на уровень критичности по критерию «Учет уровня критичности используемых организациями ТЭК технологий, оборудования, АСУ технологическими и производственными процессами, материалов и компонентов» определяет значимость конкретного объекта техники для технологических процессов, применяемых в ТЭК. На рис. 7 отображена структурная схема данного критерия.

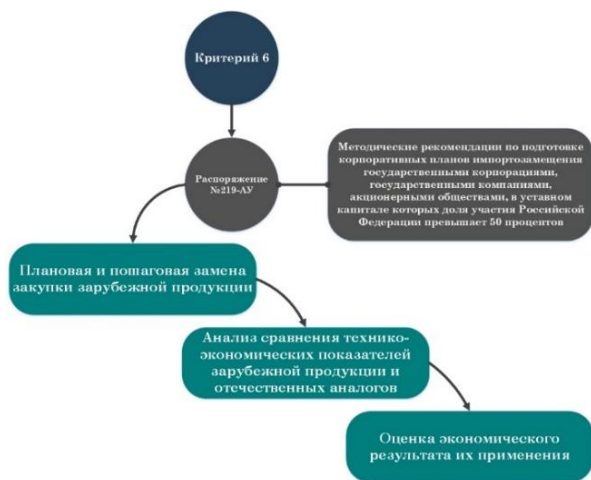


Рис. 6. Структурная схема критерия «Соответствие технологиям и продукции, указанных в корпоративных планах импортозамещения»

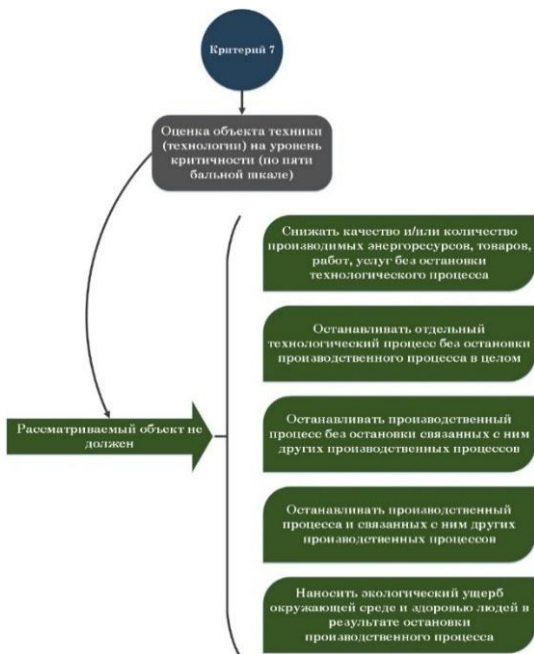


Рис. 7. Структурная схема критерия «Учет уровня критичности используемых организациями ТЭК технологий, оборудования»

Критерий «Соответствие экономическим показателям объекта техники (технологии)» (рис. 8) и критерий «Соответствие научно-техническим показателям высокотехнологичного объекта техники (технологии)» (рис. 9) базируются на приказе №1026 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупки такой продукции».

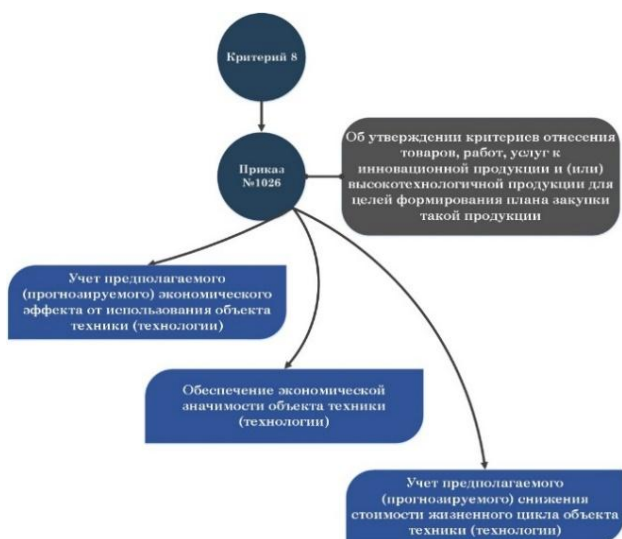


Рис. 8. Структурная схема критерия «Соответствие экономическим показателям объекта техники (технологии)»

Критерий позволяет оценить рассматриваемый объект с точки зрения экономических показателей, а также определить значимость объекта техники (технологии) для ТЭК.

Научно-технические показатели определены в соответствии с приказом №1026. В рамках данного критерия осуществляется оценка показателей, которые учитывают: используемые результаты опытно-конструкторских, научно-исследовательских и технологических работ в объекте техники (технологии); наукоёмкость продукции, т.е. наличие в технологии объектов интеллектуальной собственности (патенты, программы для ЭВМ и др.); увеличение срока эксплуатации и уровня безопасности объекта; сокращение числа отказов и аварий объекта техники (технологии).

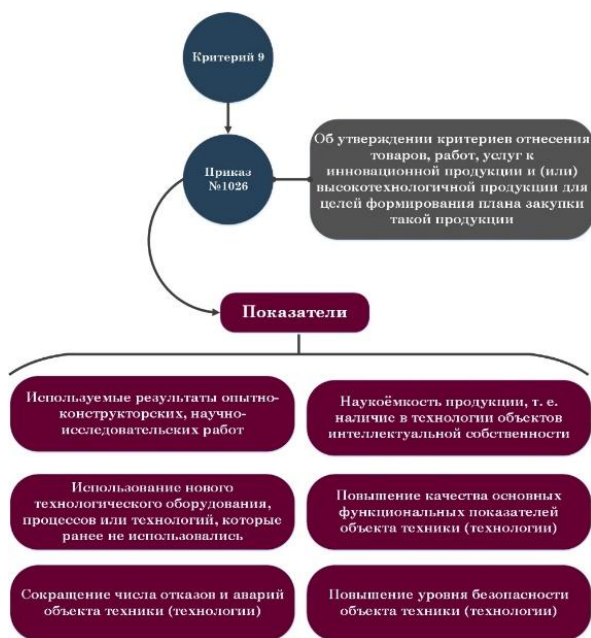


Рис. 9. Структурная схема критерия «Соответствие научно-техническим показателям высокотехнологичного объекта техники (технологии)»

В результате работы были представлены структурные схемы критериев отнесения технологии к современным высокотехнологичным технологиям, возможных к применению в ТЭК, на основе анализа нормативно-правовых актов, которые характеризуют современную высокотехнологичную продукцию, позволяют определить список критериев.

Библиографический список

1. Трусов А.В., Трусов В.А., Кульбеда П.А. Информационная модель ранжирования объектов техники (технологий), возможных к применению в топливно-энергетическом комплексе // Информационные ресурсы России: научно-практический журнал. – 2019. – № 4(170). – С. 2–6.
2. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации. – URL: <http://government.ru/docs/all/77983/> (дата обращения: 26.05.2021).

3. О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420242688//> (дата обращения: 26.05.2021).

4. Об утверждении Методических рекомендаций по подготовке корпоративных планов импортозамещения государственными корпорациями, государственными компаниями, акционерными обществами, в уставном капитале которых доля участия Российской Федерации превышает 50 процентов, организациями, реализующими инвестиционные проекты. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456012933> (дата обращения: 26.05.2021).

Сведения об авторах

Трусов Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, директор Пермского ЦНТИ – филиала ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, г. Пермь, e-mail: tav@permcnti.ru

Ветрова Валерия Дмитриевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-19-1м, г. Пермь, e-mail: soldlera@yandex.ru

В.Н. Лясин, Л.Н. Трефилова, В.Б. Ситникова

РАЗРАБОТКА ЗАДАЧИ «РАСЧЕТ НАЧИСЛЕНИЙ ЗА УСЛУГИ ТСЖ»

Рассмотрен процесс автоматизации системы управления расчетами начислений за услуги ТСЖ. Разработанная система изменит планирование работы бухгалтера: теперь на выходе будут не только автоматически сформированные счета об оплате, но и отчеты по собственникам дома, показания по счетчикам в виде базы данных, отчет по предоставляемым услугам ТСЖ. Система разрабатывается для сокращения времени и трудоемкости расчетов, сокращения ошибок при расчетах начислений, сохранения отчетности за периоды, доступа плательщиков к данным об осуществлении ими платежей, а также расходов ТСЖ.

Ключевые слова: автоматизированная система, ТСЖ, расчет начислений, квитанция, программное обеспечение.

V.N. Lyasin, L.N. Trefilova, V.B. Sitnikova

TASK DEVELOPMENT «CALCULATION OF CHARGES FOR HOA SERVICES»

This article describes the process of automating the management system for calculating charges for Homeowners' association services. The developed system will change the planning of the accountant's work: now the output will be not only automatically generated payment invoices, but also reports on the owners of the house, meter readings in the form of a database, a report on the services provided by the Homeowners' association. The system is designed to reduce the time and complexity of calculations, reduce errors in calculating accruals, save reporting for periods, access payers to data on their payments, as well as Homeowners' association expenses.

Keywords: automated system, Homeowners' association, calculation of charges, receipt, software.

Товарищество является некоммерческой организацией, создаваемой и действующей в соответствии с Жилищным кодексом Российской Федерации, Федеральным законом «О некоммерческих организациях». При этом на ТСЖ возлагается обязанность вести бухгалтер и сдавать отчетность, сформированную по результатам отчетных периодов, в налоговую инспекцию, а также рассчитывать начисления и формировать платежные документы.

ТСЖ содержит один многоквартирный жилой дом на 154 помещения: 150 квартир и 4 нежилых помещения, сдаваемых в аренду. ТСЖ курирует осуществление следующих услуг: предоставление коммунальных услуг (отопление, горячая и холодная вода, водоотведение), электроэнергии, содержание и текущий ремонт имущества, ведение капитального ремонта дома.

Начисления за эти услуги рассчитываются исходя из показаний счетчиков, текущих тарифов, договоров подряда и тому подобных данных. Председатель ТСЖ следит за своевременным сбором этих данных и передает их бухгалтеру. Бухгалтер ТСЖ рассчитывает начисления, которые потом заносит в квитанции и рассылает плательщикам в виде печатных документов. Квитанции, как и прочие расчетные документы, на данный момент содержатся в excel-таблицах и редактируются вручную, расчет производится с помощью внутренних средств. Каждая квитанция заполняется и рассчитывается отдельно, агрегация данных для отчетности также является трудоемким процессом, так как подразумевает последовательный сбор рассчитанных данных.

Доступ к информации для плательщиков может быть затруднен. Например, в случае утери квитанций, плательщик вынужден обращаться к председателю или бухгалтеру за данными о начислениях, переданных показаниях счетчиков, платежах.

Отсюда возникновение спорных и конфликтных ситуаций на фоне некачественного регулирования процессами учета и предоставления услуг, что крайне вредит деятельности ТСЖ, поэтому создание системы расчетов и автоматизации деятельности сотрудников ТСЖ является актуальной.

Система разрабатывается для сокращения времени и трудоемкости расчетов, сокращения ошибок при расчетах начислений, сохранения отчетности за периоды, доступа плательщиков к данным об осуществлении ими платежей, а также расходов ТСЖ.

Система должна предоставлять следующие функции:

1. Авторизация пользователей в общей системе.
2. Предоставление автоматизированных форм для ввода и редактирования данных.
3. Создание и хранение нормативных документов о предоставляемых услугах.
4. Составление отчетов за различные временные периоды.

5. Осуществление расчетов начислений и платежей.

Основные требования к системе расчета начислений:

- 1) возможность добавления и редактирования данных об участниках ТСЖ, участках, счетчиках, услугах, начислениях;
- 2) наличие поиска данных по параметрам;
- 3) возможность расчета начислений за коммунальные и прочие услуги;
- 4) защита системы и данных от несанкционированного доступа.

В отсутствие автоматизированного расчета начислений на услуги ТСЖ сотрудники, отвечающие за расчет начислений и информирование плательщиков, не всегда имеют возможность качественно выполнить свои должностные обязанности. Могут быть трудности при работе с данными, и, как следствие, возникают ошибки в производстве расчетов, происходит нарушение установленных сроков оплаты услуг.

Наглядно отобразить процессы, происходящие при работе на начислений за услуги, можно с помощью модели AS-IS («Как есть»).

В качестве методологии для выполнения функционального моделирования выбрана IDEF0.

Методология IDEF0 используется для создания функциональной модели, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, преобразуемые этими функциями*.

После анализа модели «Как есть» можно строить модель TO-BE («Как должно быть»), которая отражает выполнение функций так, как должно быть после проведения автоматизации выбранного процесса.

Диаграмма деятельности «Как должно быть» представлена на рис. 1.

В данном случае будет меняться решение автоматизации, внедряется автоматизированная система расчета начислений.

Изменится планирование работы бухгалтера: теперь на выходе будут не только автоматически сформированные счета об оплате, но и отчеты по собственникам МКД, показания по счетчикам в виде базы данных, отчет по предоставляемым услугам ТСЖ.

* ГОСТ Р 50.1.028-2001. Методология функционального моделирования. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 49 с.

Далее проводится обзор и анализ известных решений по расчету начислений за услуги ТСЖ.

Разработанная сотрудниками электронная таблица не отвечает заданным требованиям к внедряемой автоматизированной информационной системе практически по всем рассматриваемым характеристикам.



Рис. 1. Диаграмма ТО-ВЕ

Выгода использования системы «Квартира.Бурмистр.Ру» растет с количеством используемых лицевого счетов, система оправдывает свою цену от 500 лицевых счетов, что заметно превышает заданное количество помещений, по которому ведется расчет. Таким образом, использование подобной системы будет неоправданно дорогим.

Использование программы «Квитанции ТСЖ» в вопросе защищенности данных и предоставлении информации плательщикам ничего не может предложить.

Программа «ИнфоКрафт Квартплата.РФ» по сравнению с предыдущей имеет более современный и эргономичный дизайн. Функционал программы заметно расширен, также в сравнении с предыдущей. Тем не менее она обладает теми же проблемами.

Программа «1С:Учет в управляющих компаниях ЖКХ, ТСЖ и ЖСК» содержит в себе полный перечень услуг для удовлетворения определенных требований. Не имеет порог лицевого счетов для рациональной стоимости использования в 500 единиц. Широкий функционал для требований к системе не усложняет работу с программой.

«1С:Учет в управляющих компаниях ЖКХ, ТСЖ и ЖСК» больше всего подходит для внедрения, поскольку наиболее полно отвечает заявленным характеристикам.

Следующим этапом идет разработка информационного обеспечения.

Рассмотрена модель данных, отражающая отношения сущностей на логическом уровне. Диаграмма представлена на рис. 2.

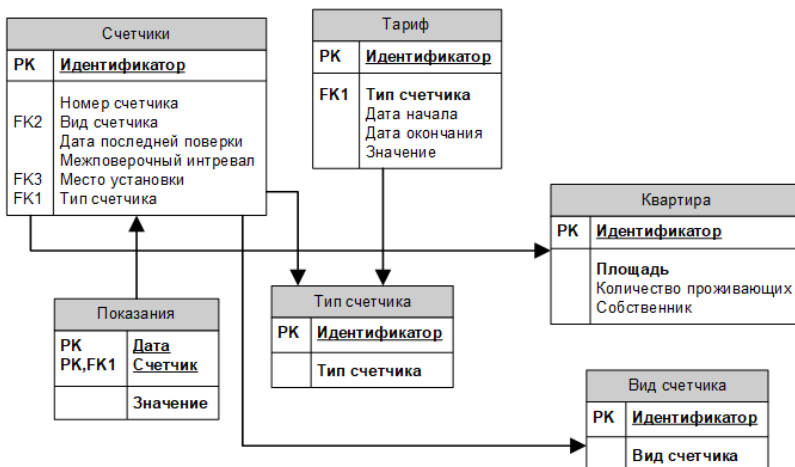


Рис. 2. Логическая модель базы данных

Внедрение автоматизированной системы представляет собой покупку, установку и настройку программы и информационной базы.

После покупки и установки программы необходимо прописать базу данных для вывода квитанций, а также заполнить необходимые справочники для ее формирования. Для этого создается модуль 1С для автоматизации работ бухгалтера по расчету квартплаты и формированию квитанций квартплаты.

Общий функционал модуля:

- сбор и хранение информации о жильцах ТСЖ;
- сбор и хранение информации о квартирах ТСЖ;
- ведение базы многих ТСЖ, включающее реквизиты ТСЖ – ИНН, КПП, расчетный счет в банке и др.;
- хранение информации о текущих тарифах, тарифах предыдущих периодов;

- расчет квартплаты на данных о текущих тарифах в ТСЖ, информации о потреблении коммунальных услуг, задолженности предыдущих периодов;

- экспорт печатных форм квитанций квартплаты;

- создание отчетов о текущем состоянии финансовых дел в ТСЖ.

Далее заполняются элементы модуля 1С – справочники в 1С для дальнейшей работы.

Справочники являются основным механизмом хранения условно постоянной информации. Они используются в тех случаях, когда необходимо исключить неоднозначный ввод информации.

Были заполнены следующие справочники:

- счетчики индивидуальные и общедомовые;

- помещения;

- лицевые счета;

- жильцы МКД;

- услуги и их номенклатура;

- тарифы;

- договоры со сторонними, ресурсоснабжающими и обслуживающими организациями.

После заполнения необходимых справочников квитанции можно выгрузить в удобном формате и распечатать. Итоговая квитанция отражает все заявленные требования и полное описание расчетов.

В статье описаны этапы создания автоматизированной системы по расчету начислений за услуги ТСЖ на основе необходимых функций и требований заказчика.

Сведения об авторах

Лясин Владимир Николаевич – доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: lvn-itas@yandex.ru

Трефилова Любовь Николаевна – председатель ТСЖ, г. Пермь, e-mail: trefilovalubov@gmail.com

Ситникова Валерия Борисовна – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-16-1бз, г. Пермь, e-mail: lerap26@mail.ru

В.С. Царьков, Д.С. Курушин

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ВИЗУАЛЬНОГО МЕШКА СЛОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И ДЕФЕКТОВ ТРУБ ДЛЯ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Рассматривается проблема определения объектов и дефектов труб для внутритрубной диагностики. Для решения данной проблемы предлагается использовать методы нечеткой логики и визуального мешка слов. Визуальный мешок слов используется для классификации изображений по двум классам – коррозии и металла. Нечеткая логика применяется для обнаружения объектов и дефектов геометрии труб. Разработаны модели объектов и дефектов труб для решения задачи нечеткой логики.

Ключевые слова: нечеткая логика, визуальный мешок слов, объекты и дефекты труб, модель, Blender.

V.S. Tsarkov, D.S. Kurushin

APPLICATION OF FUZZY LOGIC AND VISUAL BAG OF WORDS TO DETERMINE OBJECTS AND DEFECTS OF PIPES FOR INTRATUBAL DIAGNOSTICS

The article deals with the problem of identifying objects and defects of pipes for intratubal diagnostics. To solve this problem, it is proposed to use the methods of fuzzy logic and visual bag of words. The visual bag of words is used to classify images into two classes - corrosion and metal. Fuzzy logic is used to detect objects and geometry defects in pipes. Models of objects and defects of pipes have been developed to solve the problem of fuzzy logic.

Keywords: fuzzy logic, bag of visual words, pipe objects and defects, model, Blender.

В настоящее время при освоении новых нефтегазовых месторождений, а также при мониторинге работоспособности старой инфраструктуры газонептепроводов актуальной задачей является диагностика дефектов труб.

На данный момент разработано много роботов для внутритрубной дефектоскопии, а также систем технического зрения роботов. В качестве методов технического зрения [1–3] в основном используются такие методы, как ультразвуковая диагностика, магнитнооптическая дефектоскопия и видеодиагностика. В нашей работе мы пред-

лагаем использовать видеодиагностику и лидар для обнаружения объектов и дефектов труб.

Целью работы является применение методов нечеткой логики и визуального мешка слов для определения объектов и дефектов труб.

Для достижения этой цели поставлен ряд задач:

- описать классификацию объектов и дефектов труб,
- применить метод нечеткой логики для решения поставленной задачи,
- применить метод визуального мешка слов для решения задачи классификации коррозии и металла,
- разработать модель объектов и дефектов труб для решения задачи нечеткой логики,
- провизуализировать результаты,
- провести тестирование.

Основная часть. Существует большое количество объектов и дефектов труб [4, 5]. Приведем их классификацию в табл. 1.

Таблица 1

Классификация объектов и дефектов труб

№ п/п	Категория	Наименование
1	Объекты	Отвод, запорная арматура, гидраты, маркировки, инородный внутритрубный объект
2	Дефекты	Дефекты труб и СДТ: вмятина, овальность, гофр и кривизна
		Поверхностные дефекты: пятна, трещины, раковины

В данной работе рассматривается только часть объектов и дефектов труб и способы их обнаружения.

Разрабатываемое техническое зрение для проектируемого робота [6] предполагает использование камер и лидара [7] для определения объектов и дефектов труб. С помощью камер получаем растровые изображения, а с помощью лидара получаем набор точек в декартовом пространстве. В данной работе используются растровые изображения двух классов – коррозия и металл без коррозии. Если пропускать лидар параллельно оси трубы, то будут получаться наборы точек, описывающих геометрию трубы. Поэтому имеем следующие входные данные – растровые изображения двух классов коррозии и металла, а также набор точек в декартовом пространстве. Опишем

по порядку способы определения объектов и дефектов труб с помощью этих начальных данных.

Нечеткая логика [8] позволяет решать различные проблемы [9–11], которые нельзя разрешить обычной логикой. В нашем случае, имея набор точек в декартовом пространстве, которые описывают геометрию трубы, будем пытаться определять объект или дефект, к которому данный участок трубы относится. К таким объектам и дефектам будем относить следующие: окружность, овальность, гидрат, вмятина и гофр.

Опишем пять лингвистических переменных:

1. Математическое ожидание по формуле общего круга, или коротко *mo*. Термы данной лингвистической переменной: малое и большое. Формула получения данной лингвистической переменной следующая:

$$mo = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2 - r_s^2)}{n}, \quad (1)$$

где n – количество значений, полученных за один виток лидара; x_i, y_i – вычисленные координаты в декартовой системе координат; r_s – средний радиус всех вычисленных координат за один виток лидара.

2. Математическое ожидание по эллипсу, или коротко *moe*. Термы данной лингвистической переменной: малое и большое. Формула получения данной лингвистической переменной следующая:

$$moe = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i^2}{a^2} + \frac{y_i^2}{b^2} - 1 \right)}{n}, \quad (2)$$

где n – количество значений, полученных за один виток лидара; x_i, y_i – вычисленные координаты в декартовой системе координат; a, b – большая полуось и маленькая полуось соответственно.

3. Количество точек внутри идеальной трубы, или коротко *cnt*. Термы данной переменной: малое, среднее, больше среднего и большое. Формула получения данной лингвистической переменной следующая:

$$cnt = \frac{k}{n}, \quad (3)$$

где k – количество точек, расстояние от которых до центра окружности меньше, чем радиус «идеальной» трубы, т.е. такой трубы, которая нами обследуется; n – количество точек, полученных за один виток лидара.

4. Среднее отклонение от идеальной трубы, или коротко *mic*. Термы данной переменной: малое и большое. Формула данной лингвистической переменной следующая:

$$mic = \frac{\sum_{i=1}^n |r_i - r_s|}{n}, \quad (4)$$

где n – количество значений, полученных за один виток лидара; r_i – радиус точки на данном шаге; r_s – радиус «идеальной» трубы.

5. Эксцентриситет, или *ex*. Термы данной переменной: малое и большое. Формула данной лингвистической переменной следующая:

$$ex = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \quad (5)$$

где a , b – большая полуось и маленькая полуось соответственно.

Значения истинности подусловий определяются по следующей формуле:

$$b_i = \mu(a_i), \quad (6)$$

где a_i – четкие значения лингвистических переменных, рассчитанные по формулам (1)–(5); $\mu(a_i)$ – функция принадлежности термы.

С учетом 12 терм всех лингвистических переменных опишем значения истинности подусловий для них, тогда с учетом формул (1)–(6) и их терм получим: b_{1m} и b_{1b} – значения истинности подусловий для лингвистической переменной по формуле (1), с термами малое и большое соответственно; b_{2m} и b_{2b} – значения истинности подусловий для лингвистической переменной по формуле (2), с термами малое и большое соответственно; b_{3m} , b_{3s} , b_{3bs} и b_{3b} – значения истинности подусловий для лингвистической переменной по формуле (3), с термами малое, среднее, больше среднего и большое соответственно; b_{4m} и b_{4b} – значения истинности подусловий для лингвистической переменной по формуле (4), с термами малое и большое соответственно; b_{5m} и b_{5b} – значения истинности подусловий для лингвистической переменной по формуле (5), с термами малое и большое соответственно.

С учетом предыдущего этапа опишем базу правил:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1: \text{ЕСЛИ } b_{1m} \text{ И } b_{2m} \text{ И } b_{3s} \text{ И } b_{4m} \text{ И } b_{5m} \text{ ТО это окружность,} \\ R_2: \text{ЕСЛИ } b_{1b} \text{ И } b_{2b} \text{ И } b_{3bs} \text{ И } b_{4b} \text{ И } b_{5b} \text{ ТО это вмятина,} \\ R_3: \text{ЕСЛИ } b_{1b} \text{ И } b_{2m} \text{ И } b_{3s} \text{ И } b_{4b} \text{ И } b_{5b} \text{ ТО это овальность,} \\ R_4: \text{ЕСЛИ } b_{1m} \text{ И } b_{2m} \text{ И } b_{3b} \text{ И } b_{4b} \text{ И } b_{5b} \text{ ТО это гидрат,} \\ R_5: \text{ЕСЛИ } b_{1m} \text{ И } b_{2m} \text{ И } (b_{3m} \text{ ИЛИ } b_{3b}) \text{ И } b_{4m} \text{ И } b_{5b} \text{ ТО это гофр.} \end{array} \right. \quad (7)$$

Дефазификация проводится в два этапа:

1. $R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$, где R_i – полученный результат на данном шаге витка лидара, а $(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5)$ – рассмотренные правила в системе (7);

2. ЕСЛИ R_{i-1} – гидрат И R_i – гофр, ТО $R_{i-1} := R_i$.

С помощью мешка визуальных слов решаются задачи классификации объектов на изображении [12, 13]. Попробуем применить данный метод для поставленной задачи. Для этого необходима обучающая выборка двух классов – коррозия и металл. В нашей выборке имеется 72 изображения коррозии и 72 изображения металла, также имеется 20 изображений для тестов. Экземпляры классов коррозии и металла представлены на рис. 1.



Рис. 1. Изображения коррозии и металла соответственно

Построение модели и визуализация. Для того чтобы проверить работоспособность метода нечеткой логики решаемой задачи, необходимо смоделировать получение данных с лидара. Данные с лидара [7] приходят в виде расстояния до отраженной поверхности и угла, на котором это отражение произошло. Также будем иметь в виду, что нам известен «идеальный» радиус обследуемой трубы, так как у обследуемых труб имеются спецификация и их данные. Тогда опишем псевдокод алгоритма построения объекта «окружность», представленный в листинге 1.

Листинг 1 – Алгоритм генерации координат окружности

```
z = 0
step_angl = 3
list_data = []
for i in range(circles):
    angl = 0
```

```

while angl<360:
    temp_err      =      random.uniform(-
self.err_rds,self.err_rds)
    rds2 = self.rds + temp_err
    x = (rds2) * cos(radians(self.angl))
    y = (rds2) * sin(radians(self.angl))
    z += 1
    list_data.append([x,y,z])
    angl += step_angl

```

В листинге 1 координаты генерируются с погрешностью, так как приборы не могут давать идеальные результаты, при этом координаты добавляются в список для последующей передачи пометоду нечеткой логики и визуализации. Аналогичным образом описываются алгоритмы для создания овальности, гидрата, гофра и вмятины. Только овальность описывается по формуле эллипса. Вмятина описывается по формуле окружности, как в листинге 1, но в случайных местах радиус необходимо постепенно уменьшать и увеличивать для получения необходимой вмятины. Гидрат создается аналогично алгоритму, описанному в листинге 1, но на каждом шаге витка лидара радиус постепенно уменьшается, а потом увеличивается. А для гофра каждый шаг лидара радиус то увеличивается, то уменьшается, аналогично гофру. Представим данные объекты и дефекты в декартовом пространстве. В качестве примера приведем дефект «вмятина», представленный на рис. 2.

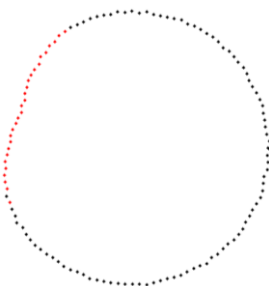


Рис. 2. Полученный дефект «вмятина»

Визуализацию полученных объектов и дефектов проведем в 3D-редакторе Blender. Полученные координаты из листинга 1 передаются в Blender, и с помощью скрипта, представленного в листинге 2, создается объект в 3D-редакторе.

Листинг 2 – Скрипт создания объекта в Blender

```
new_mesh = bpy.data.meshes.new('mesh_test')
new_mesh.from_pydata(ver, edges, faces)
new_mesh.update()
new_object = bpy.data.objects.new('new_obj',
new_mesh)
bpy.context.scene.objects.link(new_object)
```

В результате работы данного скрипта получается следующий результат, представленный на рис. 3.

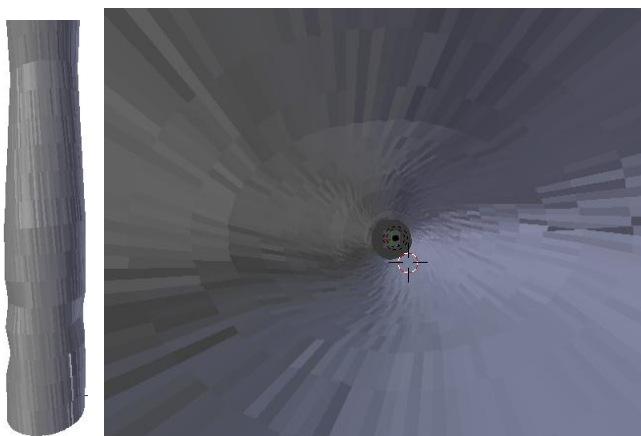


Рис. 3. 3D-визуализация дефектов в Blender и вид изнутри

Результаты экспериментов. В ходе проделанных работ были реализованы прототипы программ, решающих поставленные задачи. Результат работы прототипа программы метода нечеткой логики представлен в табл. 2.

Таблица 2

Результат работы прототипа программы метода нечеткой логики

Исходные данные	Результат	<i>mo</i>	<i>moe</i>	<i>cnt</i>	<i>mic</i>	<i>ex</i>	ФП <i>mo</i>	ФП <i>moe</i>	ФП <i>cnt</i>	ФП <i>mic</i>	ФП <i>ex</i>
Окружность	Окружность	1.29	0.0	0.47	0.96	0.2	[1, 0]	[1, 0]	[1, 0]	[0, 0.7107, 0, 0]	[1, 0]
Окружность	Окружность	1.38	0.0	0.51	1.0	0.2	[1, 0]	[1, 0]	[1, 0]	[0, 0.876, 0.0137, 0]	[1, 0]
Вмятина	Вмятина	62.35	0.14	0.6	4.47	0.55	[0, 1]	[0, 1]	[0, 1]	[0, 0.0496, 0.7315, 0]	[0, 1]

Окончание табл. 2

Исходные данные	Результат	<i>mo</i>	<i>moe</i>	<i>cnt</i>	<i>mic</i>	<i>ex</i>	ФП <i>mo</i>	ФП <i>moe</i>	ФП <i>cnt</i>	ФП <i>mic</i>	ФП <i>ex</i>
Вмятина	Окружность	62.33	0.14	0.55	4.57	0.54	[0, 1]	[0, 1]	[0, 1]	[0, 0.4628, 0, 0]	[0, 1]
Вмятина	Вмятина	60.68	0.16	0.67	4.41	0.55	[0, 1]	[0, 1]	[0, 1]	[0, 0, 0.9665, 0]	[0, 1]
Овальность	Овальность	151.52	0.0	0.49	11.09	0.56	[0, 1]	[0, 1]	[1, 0]	[0, 0.876, 0, 0]	[0, 1]
Овальность	Овальность	67.74	0.0	0.47	7.34	0.48	[0, 1]	[0, 1]	[1, 0]	[0, 0.7107, 0, 0]	[0, 1]
Овальность	Овальность	19.25	0.0	0.49	3.89	0.37	[0, 0.46]	[0, 0.8591]	[1, 0]	[0, 0.876, 0, 0]	[0.0064, 0.996]
Гидрат	Гидрат	1.3	0.0	1.0	46.98	0.22	[1, 0]	[0.3766, 0.1234]	[1, 0]	[0, 0, 0, 1]	[0, 1]
Гидрат	Гидрат	1.4	0.0	1.0	39.22	0.22	[1, 0]	[0.4069, 0.0931]	[1, 0]	[0, 0, 0, 1]	[0, 1]
Гофр	Гофр	1.43	-0.0	0.0	37.72	0.18	[1, 0]	[1, 0]	[1, 0]	[1, 0, 0, 0]	[0, 1]
Гофр	Гофр	1.34	-0.0	1.0	37.93	0.22	[1, 0]	[0.4181, 0.0819]	[1, 0]	[0, 0, 0, 1]	[0, 1]

По результатам из табл. 2 можно сделать вывод о том, что примененный метод работает достаточно хорошо, но имеются ошибки. В четвертом тесте вмятина определилась как окружность, что является ошибкой. В остальных тестах ошибок не обнаружено.

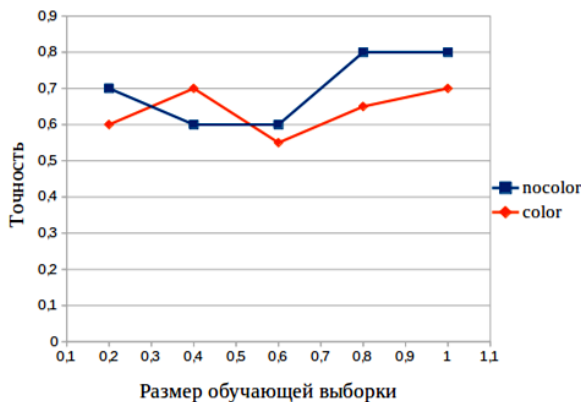


Рис. 4. Точность обученной модели к размеру обучающей выборки

Также был реализован прототип программы метода мешка слов. Результат его работы от размера обучающей выборки к точности распознавания представлен на рис. 4.

Модель обучалась как на цветных изображениях, так и на изображениях в оттенках черного, результат на изображениях с оттенками черного получился выше. На всей обучающей выборке с изображениями в оттенках черного точность распознавания получилась 80 %.

Заключение. Была предложена классификация интересующих объектов и дефектов труб, в связи с которой были применены методы нечеткой логики и визуального мешка слов. Были разработаны прототипы программ, которые моделируют объекты и дефекты труб, производят визуализацию данных объектов, решают задачу поиска объектов и дефектов труб по методу нечеткой логики, а также классификации изображений по методу визуального мешка слов.

В дальнейшем планируется доработать метод нечеткой логики, увеличить обучающую выборку для визуального мешка слов, а также планируется протестировать другие методы классификации на изображениях. Также планируется разработать методы для обнаружения объектов и дефектов из табл. 1, которые не были рассмотрены в данной статье.

Реализованные прототипы программ имеются в открытом доступе в репозитории [14].

Библиографический список

1. Crack detection in underground pipeline systems / Siddhi Baravkar, Priyanka Bhosale, Snehal Karanjakar, Ms. Chavan P.M. / International Journal of Development Research. – 2017. – № 7.

2. Lopez J.M., Sadovnychiy S. Small pig for inspection pipeline // Robotics and Automotive Mechanics Conference. CERA. – 2007. – P. 585–590.

3. Reber, K., Belanger A. Reliability of Flaw Size Calculation based on Magnetic Flux Leakage Inspection of Pipelines. – 2006 ECNDT, Tu 3.1.1. – URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.151.7007&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 24.03.2021).

4. Паранук А.А. Разработка методов раннего обнаружения гидратообразования в магистральных газопроводах и технологических трубопроводах компрессорных станций: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. – Краснодар, 2014.

5. Инструкция по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов // Бесплатная библиотека документов. – URL: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/59/59098/index.htm> (дата обращения: 06.04.2021).

6. Информационная система для внутритрубной диагностики на основе интеллектуальной роботизированной платформы / Д.С. Курушин, Р.А. Файзрахманов, А.М. Щелудяков, Д.В. Яруллин // Информационно-измерительные и управляющие системы. – М.: Радиотехника, 2019. – Т.17, № 4. – С. 64–71.

7. RPLIDAR Low Cost 360 degree 2D Laser Scanner (LIDAR) System // Robotshop. – URL: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/datasheet-rplidar.pdf> (дата обращения: 12.03.2021).

8. Xexéo G. Fuzzy logic. Rio de Janeiro: Computing Science Department and Systems and Computing Engineering Program, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil. – 2002. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.102.8095&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 21.03.2021).

9. Ceravolo P., Rocacher D. Detecting is-a and part-of Relations in Heterogeneous Data Flow. // Khosla R., Howlett R.J., Jain L.C. (eds). Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. – KES 2005. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 3681. Springer, Berlin, Heidelberg. – 2005. – URL: https://doi.org/10.1007/11552413_16 (дата обращения: 27.05.2021).

10. Meschino Gustavo, Espin Andrade Rafael, Ballarin Virginia. A framework for tissue discrimination in Magnetic Resonance brain images based on predicates analysis and Compensatory Fuzzy Logic // International Journal of Intelligent Computing in Medical Sciences and Image Processing. – 2008. DOI: 10.1080/1931308X.2008.10644165

11. Лебедева М.Е. Нечеткая логика в экономике – формирование нового направления // Идея и идеалы. – 2019. – Т. 11, № 1, ч. 1. – С. 197–212. DOI: 10.17212/2075-0862-2019-11.1.1-197-212

12. Learning RGB-D descriptors of garment parts for informed robot grasping / A. Ramisa [et al.] // Eng. Appl. Artif. Intel. – 2014. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2014.06.025> (дата обращения: 27.05.2021).

13. Distinction between handwritten and machine-printed text based on the bag of visual words model / Zagoris Konstantinos, Pratikakis Ioannis, Antonacopoulos Apostolos, Gatos Basilis, Papamarkos Nikos // Pattern Recognition. – 2014. – vol. 47, iss. 3. – P. 1051–106. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2013.09.005> (дата обращения: 27.05.2021).

14. Trub-cv. – URL: <https://github.com/VladTsarkov/trub-cv> (дата обращения: 27.05.2021).

Сведения об авторах

Царьков Владислав Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ2-19-1м, г. Пермь, e-mail: zaykoman@gmail.com

Курушин Даниил Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kurushin.daniel@ya.ru

Д.Э. Цибулис, А.Н. Рагозин, С.Н. Даровских

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТИВНО- СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Рассматривается применение генеративно-состязательных нейронных сетей в практических задачах. Приведены некоторые технологии построенные с использованием генеративно-состязательных сетей.

Ключевые слова: информационный сигнал, нейронная сеть, генеративно-состязательная сеть.

D.E. Tsibulis, A.N. Ragozin, S.N. Darovskih

ANALYSIS OF INFORMATION SIGNALS USING GENERATIVE-ADVERSARIAL NEURAL NETWORKS

This article discusses the use of generative-adversarial neural networks in practical problems. Some technologies constructed using generative-adversarial networks are presented.

Keywords: information signal, neural network, generative-adversarial network.

Информационный сигнал отражает физические процессы, протекающие в информационных системах. Анализ информационных сигналов позволяет формировать решения относительно характера поведения процессов информационных систем. Например, отклонение от нормального режима функционирования может быть следствием вредоносных воздействий, направленных на информационную систему. Процессы, протекающие в информационных системах и наблюдаемые в виде информационных сигналов, представимы в виде цифровых изображений. Обработку таких изображений можно провести при помощи генеративно-состязательной нейронной сети, что позволит сформировать высокоинформативные признаки для принятия решений относительно характера поведения процессов, протекающих в информационных системах [1].

Генеративно-состязательные сети – модель в области машинного обучения, умеющая имитировать заданное распределение данных.

Такая модель состоит из двух нейронных сетей – генератора (Г) и дискриминатора (Д). Структура генеративно-состязательной сети изображена на рис. 1.

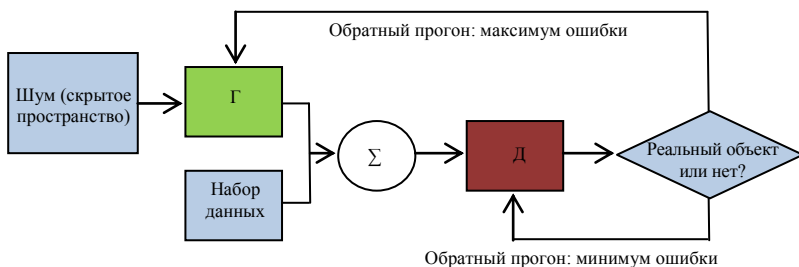


Рис. 1. Структура генеративно-состязательной сети

Генератор формирует объекты из скрытого пространства признаков, а дискриминатор, обученный на реальных объектах, стремится найти расхождения между настоящим и сгенерированным объектом. В математическом описании дискриминатор формирует на выходе вероятность того, что некий образ x относится к классу y : $p(y|x)$. Генератор формирует вероятность появления в классе y образа x : $p(x|y)$. При этом генератор пытается повысить процент ошибок дискриминатора, который, в свою очередь, старается увеличить точность распознавания. Как и в любой нейронной сети, тренировка проводится путем вычисления функции потерь (функционала ошибки) и последующей его минимизации, например методом градиентного спуска. Функционал ошибки для генеративно-состязательной сети можно описать выражением:

$$\min_G \max_D V(G, D) = E_{x \sim p_g} [\log(D(x))] + E_{z \sim p_n} [\log(1 - D(G(z)))]. \quad (1)$$

где x – данные из обучающей выборки; z – некий шум, добавляемый к входным данным; p_g – распределение вероятностей того, что некий образ относится к классу x ; p_n – распределение шумовой составляющей на входе; $G(z, \theta_z)$ – дифференцируемая функция, выполненная в виде многослойного персептрона с параметром θ_z , выполняющая функцию генератора; $D(x, \theta_d)$ – многослойный персептрон, выполняющий функцию дискриминатора; $\min_G \max_D V(G, D)$ – функционал ошибки совместной работы двух нейронных сетей, по-другому обозначаемый Loss-function, или L .

Рассмотрим несколько практических применений генеративно-состязательных сетей. Для обзора возьмем технологии CycleGAN и StackGAN.

Технология CycleGAN предполагает замену одних объектов на изображении на совершенно новые, не встречающиеся на исходном изображении [2, 3]. В отличие от традиционной архитектуры GAN данная структура преобразует следующий функционал ошибки (2):

$$L(F, G, D_X, D_Y) = L_{GAN}(G, D_Y, X, Y) + \\ + L_{GAN}(F, D_X, Y, X) + \lambda L_{cyc}(G, F), \quad (2)$$

т.е. общая функция потерь состоит из трех частей: $L_{GAN}(G, D_Y, X, Y)$ – функция потерь при тренировке генеративно-состязательной модели, обучающейся создавать образы X , неотличимые от Y ; $L_{GAN}(F, D_X, Y, X)$ – функция потерь при тренировке генеративно-состязательной модели, обучающейся создавать образы Y , неотличимые от X ; $\lambda L_{cyc}(G, F)$ – функция потерь с неким гиперпараметром λ , который отвечает за корректировку работы генераторов G и F .

Благодаря тому что данная структура обучается генерировать объекты как в прямом, так и в обратном направлениях, получается заменять одни предметы на изображении совершенно новыми. На рис. 2 представлен пример работы такой нейронной сети.

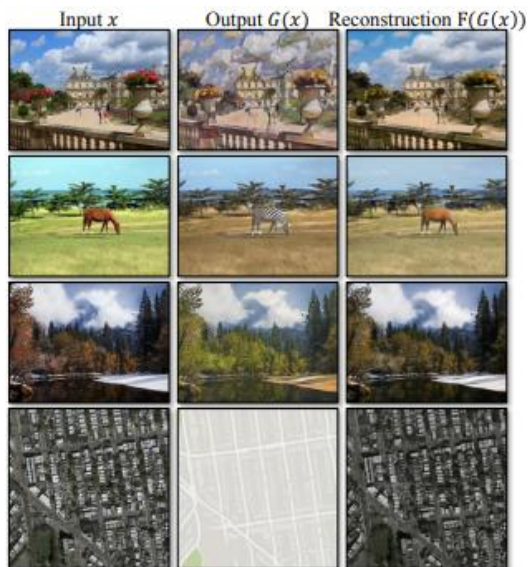


Рис. 2. Результаты работы технологии CycleGAN [3]

Технология StackGAN позволяет сгенерировать изображение по заданному тексту [4]. Структура такой сети состоит из двух компонентов Stage-I GAN и Stage-II GAN. Сеть Stage-I GAN на основе заданного текста определяет базовые формы и цвета, которые необходимо применять, а также создает фон изображения используя скрытое пространство признаков. На выходе этой сети получается картинка с низким разрешением.

Сеть Stage-II GAN занимается корректировкой изображения низкого разрешения по деталям, которые она находит в тексте. Результат работы сети – это картинка с высоким разрешением.

Результат работы сети StackGAN представлен на рис. 3.



Рис. 3. Результат работы технологии StackGAN [4]

Рассмотренные примеры лишь небольшая часть всех возможных приложений генеративно-состязательных сетей. Такие сети могут обрабатывать информационные сигналы вне зависимости от их вида (текстовые или зрительные), так как такие сигналы эффективно представимы с использованием время-частотных отображений в виде цифровых изображений.

Библиографический список

1. General Adversarial Nets, Ian J. Goodfellow, Jean Pouget-Abadie, Mehdi Mirza, Bing Xu, David Warde-Farley, Sherjil Ozair, Aaron Courville, Yoshua Bengio – Departement d’informatique et de recherche operationnelle Universite de Montreal, Montreal, QC H3C 3J7 [Электрон-

ный ресурс]. – URL: <https://papers.nips.cc/paper/2014/file/5ca3e9b122f61f8f06494c97b1afccf3-Paper.pdf>

2. General Adversarial Nets (GAN) [Электронный ресурс]. – URL: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Generative_Adversarial_Nets_\(GAN\)#cite_note-2](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Generative_Adversarial_Nets_(GAN)#cite_note-2)

3. Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks – Jun-Yan Zhu, Taesung Park, Phillip Isola Alexei A. Efros, UC Berkeley, in ICCV 2017 [Электронный ресурс]. – URL: <https://junyanz.github.io/CycleGAN/>

4. StackGAN: Text to Photo-realistic Image Synthesis with Stacked Generative Adversarial Networks / Han Zhang, Tao Xu, Hongsheng Li, Shaoting Zhang, Xiaogang Wang, Xiaolei Huang, Dimitris Metaxas [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1612.03242.pdf>

Сведения об авторах

Цибулис Дмитрий Эдуардович – студент Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, e-mail: dtsibulis@yandex.ru

Рагозин Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инфокоммуникационные технологии», «Защита информации» Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, e-mail: ragozinan@susu.ru

Даровских Станислав Никифорович – заведующий кафедрой «Инфокоммуникационные технологии», доктор технических наук, профессор кафедры ИКТ Южно-Уральского государственного университета (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, e-mail: darovskikh@sn@susu.ru

А.А. Диязитдинова

**УМЕНЬШЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ
СОВМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ
ДЛЯ МНОГОКАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Представлен алгоритм обработки телевизионных сигналов для многокамерной системы технического зрения, направленный на уменьшение погрешности оценки параметров совмещения. Современные системы технического зрения оснащены одновременно несколькими камерами, устанавливаемые таким образом, чтобы получить изображения в одном ракурсе, но с различным разрешением. Эта конструктивная особенность обеспечивает повышение качества изображения при изменении масштаба. Неотъемлемым элементом подобных систем является программное обеспечение, отвечающее за совмещение кадров, снятых различными камерами. При совмещении телевизионных сигналов возникают погрешности оценки параметров из-за использования отдельных фрагментов изображений независимо друг от друга. Разработанный алгоритм позволяет уменьшить погрешность за счет совместной обработки нескольких фрагментов, объединенной параметрической моделью.

Ключевые слова: совмещение, телевизионный, многокамерный, техническое зрение, масштаб, смещение, совместная обработка, параметрический, погрешность оценки.

A.A. Diyazitdinova

**EXTRACTING RELATIONS SUCH AS "TO BE" FROM
THE TEXTS IN RUSSIAN LANGUAGE**

The research about decreasing error of superposition parameters estimation of television signals for multi-camera machine vision showed of current article. The modern machine vision has several camera. They are placed for shooting the images with equal perspective, but with different resolution. This structural feature allows improving the quality of image with different scale. The required part of this machine vision is software. The aim of this software is image superposition of different cameras. There are error estimation of superposition because region of images is processed independently to each other. The developed algorithm allows to decreeing error estimation by common processing several region of image, which joints by parametric model.

Keywords: superposition, television, multi-camera, machine vision, scale, off-set, common processing, parametric, error estimation.

Оценка параметров совмещения телевизионных сигналов является актуальной задачей при эксплуатации многомерных систем технического зрения. Многокамерные системы являются одной из перспективных разработок в области видеонаблюдения и измерения технологических параметров. Основными отличиями подобных систем от однокамерных систем и систем с независимой работой нескольких камер являются:

1. Наличие перекрытий областей зрения соседних камер.
2. Наличие синхронизации (как правило, временной отметки в кадре данных) для совместной обработки.
3. Оснащение двух и более камер в одном ракурсе для наблюдения одной и той же территории, но различающихся фокусным расстоянием объектива.

Если два первых отличия относятся к техническим параметрам системы, то третье характеризуется принципиально новыми результатами в плане качества видеонаблюдения. Оно позволяет повысить разрешающую способность. Это означает, что при масштабировании области изображения будут сохраняться детали. За этот эффект отвечают камеры с большим фокусным расстоянием.

Подобный технический эффект был заимствован из смартфонов, которые оснащаются двумя и более камерами (например, iPhone 11 версии содержит 3 камеры с фокусными расстояниями 13, 26 и 52 мм).

Однако для получения необходимого результата, который заключается в корректном масштабировании изображения при переключении от данных одной камеры к другой, необходимо обеспечить прецизионное совмещение телевизионных сигналов.

Исследованию данной задачи посвящена представленная статья.

Вопросам совмещения телевизионных сигналов посвящено много научно-исследовательских работ.

Можно выделить следующие группы:

- плоскопараллельное совмещение [1, 2, 12];
- аффинное совмещение [3–5, 13];
- проективное совмещение [6–8];
- совмещение с использованием дескрипторов [9, 10].

Алгоритмы, разработанные в данных направлениях и не только, решают либо общую задачу (но в этом случае теряются детали, свой-

ственные частной задаче, что приводит к невозможности использования ее на практике)*, либо же решается узкая специфическая задача, которой соответствует ряд ограничений, не выполняющие для изображений многокамерной системы.

Однако принципы обработки, заложенные в этих исследованиях, позволили разработать алгоритм совмещения данных, который характеризуется верной и стабильной работой.

Особенностями решаемой задачи совмещения являются:

– влияние проективных преобразований мало, и наибольшее влияние имеет аффинное преобразование;

– возможность определения приблизительной области интереса на изображении, полученном от камеры с большим фокусным расстоянием (данное условие выполняется при стандартизации геометрического расположения камер) (рис. 1).

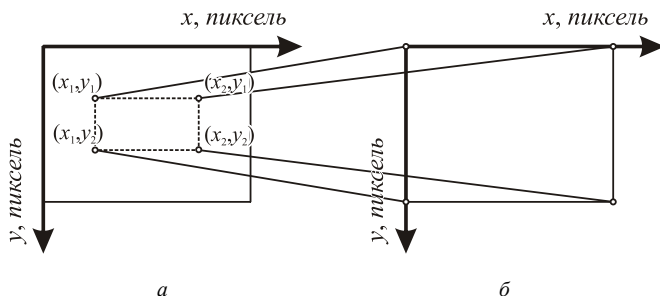


Рис. 1. Изображение с камеры с меньшим фокусом (а) «включает» в себя изображение с камеры с большим фокусом (б)

Обозначим изображение, получаемое от камеры с меньшим фокусным расстоянием, как изображение на рис. 1, а, а с большим фокусным расстоянием – изображение на рис. 1, б.

Обработка телевизионных сигналов многокамерной системы технического зрения ведется в следующей последовательности:

1. Распознавание точек интереса на изображении рис. 1, а.
2. Расчет «грубых» параметров преобразования (используется проективная параметрическая модель) для перевода изображения рис. 1, б в координатную сетку изображения рис. 1, а.

* Наиболее частным недостатком является низкая помехозащищенность при сопоставлении областей изображения или точек интереса.

3. Коррекция смещения и масштаба в окрестности точки интереса (используется разработанный двухэтапный алгоритм оценки с возможностью измерений с высокой погрешностью).

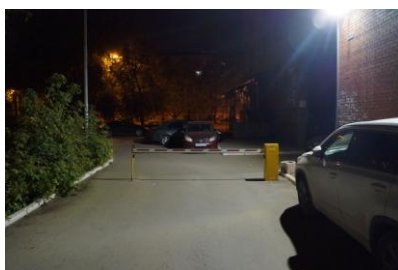
4. Расчет «прецизионных» параметров преобразования.

Под точками интереса понимаются локальные экстремумы. В работе для распознавания точек интереса был использован детектор Harris [11]. Расчет «грубых» параметров преобразования определяется по четырем точкам на изображениях рис. 1, *а* и рис. 1, *б*. На изображении рис. 1, *б* это точки с координатами: $(1,1)$; $(1, \text{width}(B))$; $(\text{height}(B), 1)$; $(\text{height}(B), \text{width}(B))$, где $\text{height}(B)$, $\text{width}(B)$ – высота и ширина изображения B соответственно. На изображении рис. 1, *а* этим точкам соответствует: (x_1, y_1) ; (x_1, y_2) ; (x_2, y_1) ; (x_2, y_2) (см. рис. 1).

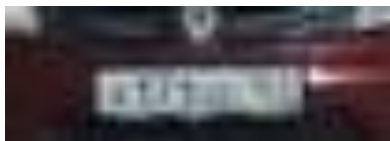
Параметры преобразования получаются из модели проективного совмещения $(h_{11} \dots h_{32})$:

$$x = \frac{h_{11} \cdot x' \cdot h_{12} \cdot y' + h_{13}}{h_{31} \cdot x' \cdot h_{32} \cdot y' + 1}, \quad y = \frac{h_{21} \cdot x' \cdot h_{22} \cdot y' + h_{23}}{h_{31} \cdot x' \cdot h_{32} \cdot y' + 1}.$$

Разработанный алгоритм был апробирован в системе технического зрения, оснащенной двумя камерами с фокусным расстоянием 18 и 55 мм. На рис. 2 представлена отмасштабированная область изображения однокамерной и многокамерной системы (18 и 55 мм).



а



б



в

Рис. 2. Результат работы алгоритма совмещения при масштабировании: исходное изображение (*а*), результат масштабирования изображения в однокамерной системе (*б*), результат масштабирования изображения в многокамерной системе (*в*)

Из рис. 2 видно, что в многокамерной системе с использованием алгоритма совмещения качество изображения выше, чем в однокамерной системе. Кроме естественного эффекта повышения разрешающей способности, наблюдается также и уменьшение погрешности параметров совмещения. Визуально это подтверждается отсутствием «дрожания» при переключении между изображениями, получаемыми от двух различных камер.

Количественные показатели, подтверждающие уменьшение погрешности, могут быть получены двумя способами:

- путем моделирования;
- косвенным способом через коэффициент корреляции совмещаемых фрагментов изображений.

Использование моделирования не всегда является оправданным, так как фактически проверяется правильность модели, а не реального сигнала.

По этой причине была использована косвенная характеристика в виде коэффициента корреляции, подтверждающая факт уменьшения погрешности.

По изображениям, представленным на рис. 2, был вычислен коэффициент корреляции для наименьших квадратов (без удаления векторов смещений) и по предложенному двухэтапному алгоритму.

Коэффициент корреляции в первом случае составил 0,896; во втором 0,971.

Библиографический список

1. Fleet David J., Jepson Allan D. Computation of component image velocity from local phase information // International Journal of Computer Vision. – 1990. – № 1. – P. 77–104.

2. Hidetoshi M., Atsushi N., Kazutoshi K. Determining image flow from multiple frames based on the continuity equation // Technology Repts Yamaguchi University. – 1991. – № 5. – P. 387–397.

3. Мясников Е.В. Определение параметров геометрических трансформаций для совмещения портретных изображений // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 3. – С. 77–82.

4. Wolberg G., Zokai S. Robust image registration using log-polar transform // Processing of IEEE International Conference on Image Processing. – 2000. – Vol. 1. – P. 493–496. DOI:10.1109/ICIP.2000.901003

5. Kuglin C.D., Hines D.C. The phase correlation image alignment method // Processing International Conference on Cybernetics and Society. – 1975. – P. 163–165.
6. Гошин Е.В., Котов А.П., Фурсов В.А. Двухэтапное формирование пространственного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 886–891.
7. The Contour Analysis and Image Superimposition Problem in Computer Vision Systems / A.I. Novikov [et al.] // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25(1). – P. 73–80. DOI: 10.1134/S1054661815020194
8. Ефимов А.И., Новиков А.И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 258–265. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-258-265
9. Nonrigid image registration using free-form deformations with a local rigidity constraint / D. Loeckx [et al.] // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 2004). – Springer Berlin Heidelberg, 2004. – P. 639–646.
10. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors // Computer Vision and Pattern Recognition. – 2004. – Vol. 2. – P. 506–513.
11. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. – 1988. – P.147–151.

Сведения об авторе

Диязитдинова Альфия Асхатовна – старший преподаватель кафедры «Информационные системы и технологии» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: miftaxovaaa@mail.ru

А.Л. Погудин, Е.А. Пугачев

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ МОНИТОРИНГА СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Рассмотрен процесс создания автоматизации системы (АС) для работы предприятия. Разработанная АС должна будет автоматизировать контроль работы станков. Это будет сокращать время на поиск причин простоя оборудования, позволит осуществить выборки по необходимым параметрам для создания итоговых отчетов.

Ключевые слова: автоматизированная система, числовое программное управление, мониторинг.

A.L. Pogudin, E.A. Pugachev

AUTOMATED CONTROL OF MACHINE MONITORING WITH NUMERIC PROGRAM CONTROL

This article describes the process of creating a system (AS) for the operation of an enterprise. The developed AU will have to automate control over the work of machine tools. This will reduce the search for the reasons for equipment downtime, and will make it possible to make selections on the parameters for creating final reports.

Keywords: automated system, numerical control, monitoring.

В нашей стране и в мире в целом идет сильное развитие информационных технологий. Людей, которые бы не использовали технические средства, персональные компьютеры и различные гаджеты, становится все меньше. Жизнь человека наполнена разнообразной информацией, и для её хранения, группирования и обработки нужно создавать разного рода хранилища.

Автоматизированные системы обеспечивают надежность и оперативность получения необходимой информации. Это значит, что можно направить ресурсы на анализ и выработку стратегии управления, а не тратить их на обработку данных. По своей стратегии автоматизированная система – это очень сильный инструмент для обработки информации. При правильном применении система сильно упрощает работу и предоставляет огромные возможности в скорости и качестве получаемых данных. При всем при этом не стоит ожидать какого-либо невероятного результата от системы, она не сможет предоставить однознач-

ных ответов на вопросы, которые затрагивают основные финансовые показатели, также не сможет заменить профессиональных действий персонала и решений управляющего директора [1–4].

Актуальность данной разработки информационной системы заключается в потребности минимизировать время по обработке входящей и исходящей информации.

Также одним из важных преимуществ использования АИС является безопасное хранение информации. Хранение информации на бумажных носителях устарело, и не соответствует требованиям безопасности, так как потеря любого бумажного документа является необратимой. Найденный бумажный вариант может быть задействован злоумышленниками. При хранении информации на электронном носителе используются различные средства шифрования, что делает информацию более защищённой.

Таким образом, можно выделить несколько основных преимуществ использования АИС:

- быстрое получение информации о работе станков;
- получение информации о простоях;
- выполнение оператором работы согласно операционной карте или нарушение ее режимов;
- быстрое принятие решений.

Анализ предметной области является одним из важнейших этапов проектирования информационной системы. На данном этапе, используя CASE-средство, поддерживающее методологию IDF0, надо описать бизнес-логику предметной области в формате реального времени и то, что будет после автоматизации. И, что немаловажно, избегать ошибок, так как их наличие может дорого стоить на конечном этапе проекта.

Проанализировав диаграммы деятельности «Как есть», отражающие существующее на момент обследования положение дел в организации, и отметив недостатки системы, можно переходить к разработке и проектированию будущей АИС [1]. Диаграмма деятельности «Как должно быть» представлена на рис. 1.

Проведя декомпозицию диаграмм на каждом этапе, получим ясную картину всего процесса.

Контекстная диаграмма представляет собой самое общее описание системы и ее взаимодействия с внешней средой.



Рис. 1. Диаграмма бизнес-процесса «Как должно быть»

Основной функцией, отражающей систему в целом, является отслеживание загрузки оборудования.

На вход функции подаётся:

- информация о цехе – расположение цеха, его деятельность, обрабатываемые объекты (детали);
- информация о станке – модель станка, пропускная способность, управляющая система;
- месяц.

На систему в целом действует выполнение плана.

Механизмами являются:

- персонал – выполняет основную работу по сбору и анализу информации, подготовке;
- информационная система.

После преобразования входной информации при воздействии управления с помощью описанных выше механизмов получаем:

- отчеты по выполнению плана;
- отчеты о загрузке оборудования.

Следующим этапом создания АИС идет разработка информационной системы. Будут разработаны логическая и физическая модели базы данных, физическая модель базы данных представлена на рис. 2.

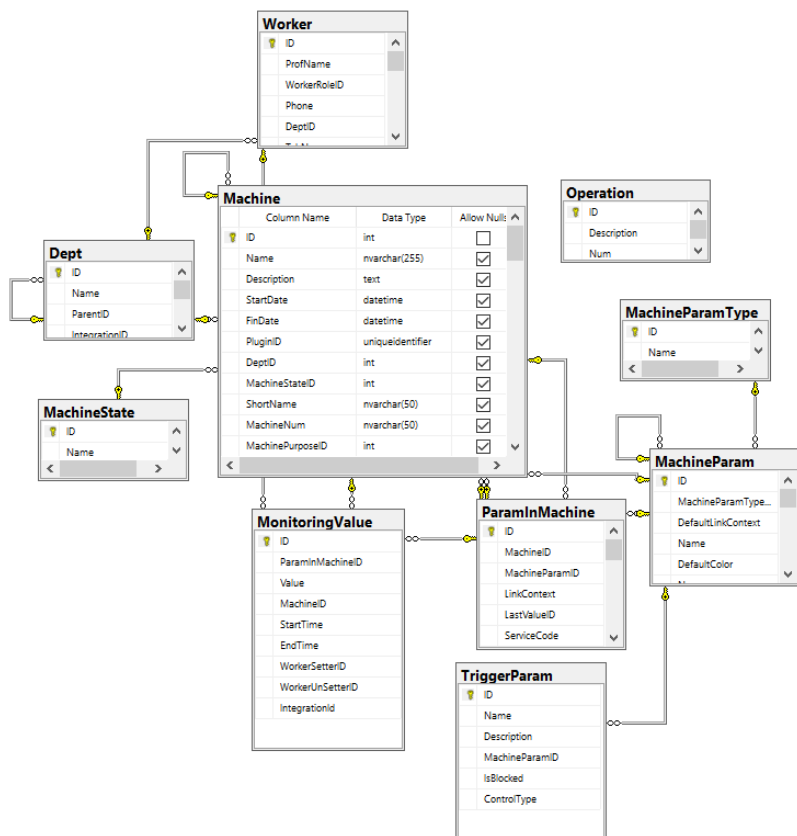


Рис. 2. Физическая модель базы данных

Так-как в своей работе я выбрал готовый продукт от «Айс Диспетчер» рассмотрим его интерфейс. Главный интерфейс веб-клиента представлен на рис. 3.

Возможности веб-клиента:

- просмотр КРІ предприятия и групп станков в режиме реального времени или за выбранный период;
- контроль показателей эффективности работы оборудования и его состояния в виде линейных диаграмм;
- детализация информации до станка, оператора, изготавливаемой детали, техноперации;

- получение данных о запланированных и просроченных работах по ТОиР;
- данные динамической аналитики;
- формирование различных статистических отчетов;
- просмотр справочных данных по предприятию.

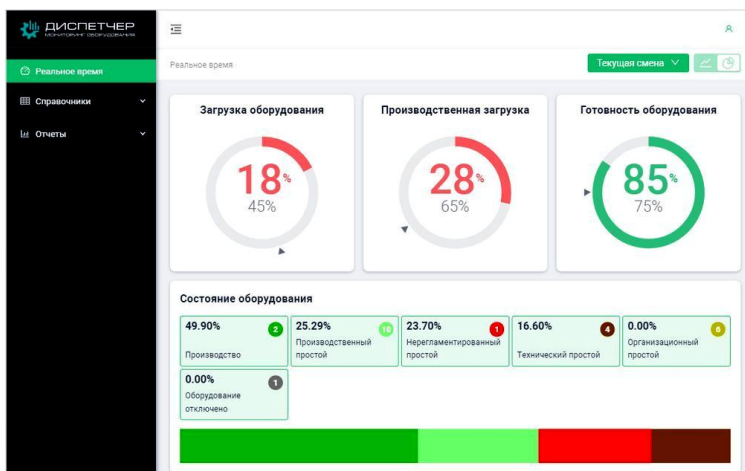


Рис. 3. Интерфейс веб-клиента

Когда автоматизированная система пройдет все процессы разработки, её нужно будет протестировать на правильность выполнения задач автоматизации. И уже после этого, если нет ошибок, можно отправлять АИС для внедрения на предприятие.

В статье мы пытались показать все важные этапы создания информационной системы для рабочего места менеджера по сдаче офисных помещений в аренду. Придерживаясь всех требований заказчика, была спроектирована система автоматизации.

Библиографический список

1. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. – М.: Финансы и Статистика, 2002 – 352 с.
2. Для чего нужен мониторинг ЧПУ станков[Электронный ресурс]. – URL: <https://vseochpu.ru/monitoring-stankov-s-chpu/> (дата обращения: 04.04.2021).

3. АИС «Диспетчер» информационная система класса MDC (Manufacturing Data Collection) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docplayer.ru/42994134-Ais-dispatcher-informacionnaya-sistema-klassa-mdc-manufacturing-data-collection.html> (дата обращения: 04.04.2021).

4. Шишов О.В. Технические средства автоматизации и управления: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 397 с.

Сведения об авторах

Погудин Андрей Леонидович – кандидат технических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: pogudin_al@mail.ru

Пугачев Евгений Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-16-1бз, г. Пермь, e-mail: manefect@mail.ru

С.А. Аникин, Н.В. Прошечкина, О.А. Караулова

ЗАДАЧА MAZE И СПОСОБЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Читатель имеет возможность ознакомиться с такими основными понятиями, как криптография, стеганография, криптограмма, стеганограмма, а также найти рекомендации к изучению примитивных методов защиты информации. Основная идея работы заключается в ознакомлении с решением задачи Maze, предполагающей владение навыком обнаружения и взлома стеганограмм.

Ключевые слова: стеганограмма, стеганография, криптография.

S.A. Anikin, N.V. Proshechkina, O.A. Karaulova

THE MAZE TASK AND WAYS TO SOLVE IT

In this article, the reader has the opportunity to get acquainted with the basic concepts of cryptography, steganography, cryptogram, steganogram, as well as to find recommendations for the study of primitive methods of information security. The main idea of the work is to introduce the solution of the Maze problem, which involves the possession of the skill of detecting and hacking steganograms.

Keywords: steganography, steganography, cryptography.

Информация была и будет считаться одним из самых ценных ресурсов в жизни людей. Не даром говорят: «Кто владеет информацией – тот владеет миром». Со временем люди стали разрабатывать методы защиты информации, которые предотвращают её утечку. Однако всегда стоит помнить, что практически не существует ни одного метода защиты, который мог бы обеспечить стопроцентную гарантию защищенности (неуязвимости, конфиденциальности). В настоящее время все более полно применяется набор в вузы для подготовки специалистов в области информационной безопасности (ИБ). Среди юных кандидатов на соответствующие должности активно проводятся конкурсы в области ИБ, например, InnoCTF, где задача участников заключается в выполнении заданий по захвату флагов (например, взлом криптограмм, стеганограм) или поддержке личного сервера для нормального его функционирования, за которые начисляются очки.

Для начала о том, что же такое стеганография и криптография, а также чем они отличаются друг от друга. Стеганография – это метод тайной передачи или хранения информации. Криптография – это

наука об обеспечении конфиденциальности информации и ее ценности [1]. Криптография работает с криптограммами. Криптограмма – это зашифрованное сообщение, в частности путём математических преобразований. В отличие от стеганограммы криптограмма не скрывает факта передачи сообщения, скрывается содержимое передающего исходного сообщения.

Перед тем как продемонстрировать примеры, вернемся немного к теории. Известно, что каждый символ вида «А, Б, в, д, щ... и т.д.» кодируется по-разному в соответствии с кодовой таблицей. В азбуке Морзе это набор тире и точек. В данном случае будем рассматривать кодовую таблицу «ср – 1251». В качестве образца воспользуемся символами, поместим их в таблицу и рассмотрим пример ниже.

Код	Символ	Код	Символ	Код	Символ
11000010	В	11000000	А	00000010	STX
11001010	К	11100010	в	00101000	(
11001111	П	11110010	т	00111101	=
11001100	М	11101110	о	00100010	"
11010010	Т	11110000	р		

Пример: «Вася кушает пирог, Маня кушает творог».

В данном тексте есть стеганограмма. Для того чтобы её прочесть, в нашем случае необходимо считать все заглавные буквы текста. Получаем сообщение вида «ВКПМТ». Несмотря на кажущуюся бессмысленность сообщения, это совершенно не так. В некоторых случаях таким методом могут передаваться ключи для криптограмм (шифров). Рассмотрим, что такое криптограмма (или шифр). Ниже представлен набор символов, который, на первый взгляд, не несёт никакой смысловой информации, однако это не так:

«STX(="».

Перед глазами представлена криптограмма (шифр). Для того чтобы сообщение стало доступным для нас, необходимо его расшифровать при помощи секретного ключа и соответствующего метода шифрования, если это симметричный шифр. Под симметричным шифром принято понимать вид шифра, операция шифрования и дешифрования которого происходит идентичным методом. Предположим, что мы знаем, какой метод шифрования применялся (гаммирование) и какой ключ необходим [2]. Сложим по модулю два (опера-

ция исключаящая ИЛИ) кодовую последовательность ключа и шифра, чтобы на выходе получить исходное сообщение:

$$\text{Шифр} \oplus \text{Ключ} = \text{Текст}.$$

Расшифровав сообщение, получаем текст «Автор». Стоит помнить, это далеко не единственный шифр, который разработали люди. Из личного интереса каждый может ознакомиться с простыми шифрами, такими как, шифр Цезаря, Виженера, метод простой замены или шифр Атбаш [1, с. 339–343]. На практике процесс создания криптограмм и стеганограмм ведётся автоматизированным способом, т.е. человеку необязательно вручную создавать криптограммы и отправлять их принимающей стороне.

Как мы выяснили, криптография и стеганография – это два принципиально разных направления, предназначенных для защиты той или иной информации. В рамках этого текста будут рассмотрены применение стеганограммы и метод её взлома, взятые из реальной конкурсной задачи.

Необычный интерес представляет собой задача Maze из раздела Steganography. В задании дается картинка в виде лабиринта (рис. 1), а сама задача имеет смысл в нахождении пути и считывания стеганограммы (рис. 2).

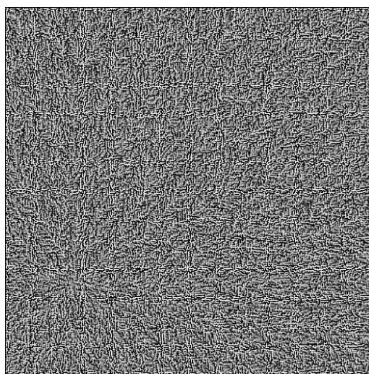


Рис. 1. Лабиринт – исходные данные в задании

В картинке достаточно большое количество пикселей 5000×5000, поэтому искать путь вручную было бы нецелесообразным, ведь таким образом пришлось бы анализировать практически 25000 пикселей. Как вы думаете, сколько времени было бы потрачено на решение

данного вопроса? Очевидно, что очень много. Есть точно два способа решения данной задачи. Рассмотрим их, а затем сделаем вывод, какой из методов наиболее эффективен.

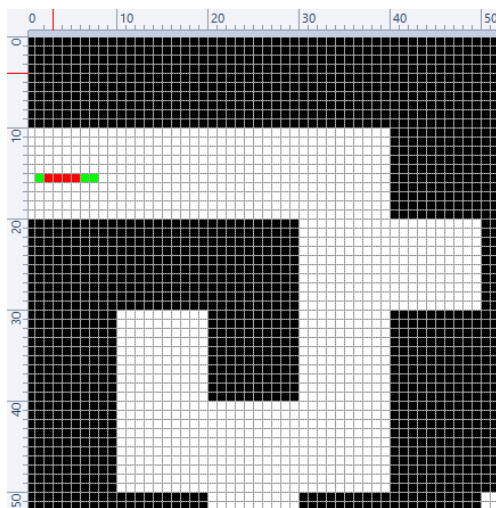


Рис. 2. Нахождение пути и считывание стенограммы

Первый метод. Для того чтобы уменьшить время для анализа достаточно большой картинки, можно прибегнуть к автоматизированному способу решения задачи. Необходимо воспользоваться языками программирования, например python, и написать программный модуль, который способен выполнять операцию нахождения пути лабиринта от точки старта до точки финиша. Например, воспользовавшись [3], можно подобрать программный модуль. Достаточно лишь немного его отредактировать и тем самым приблизиться к решению. На разработку подобного рода программы уходит определенное время, причём у каждого по-разному, все зависит от подготовки. А время, как нам известно, – один из ценнейших ресурсов.

Также существует совершенно другой способ решения данной задачи.

Второй метод. Рассмотрим принципиально новый способ решения данной задачи, который руководствуется исключительно логикой и смекалкой. Известно, что лабиринт – это, грубо говоря, коридор имеющий проход как в сторону выхода, так и в тупик, окруженный стенками. Если одну из противоположных стенок «залить» при

помощи графического редактора Paint другим, выделяющимся, цветом, то можно будет обнаружить решение лабиринта – путь к выходу. Таким образом получаем оставшийся путь (между двумя снеками, одна из которых «залита»), на котором при увеличении масштаба будет изображена последовательность в виде зелёных и красных кубиков, соединённых вместе (рис. 3). Все фрагменты по пути собираются и записываются в виде нулей и единиц, а затем отправляются на обработку в декодер. При декодировании будет получен флаг CTF{Mazes?_I_hate_them}.

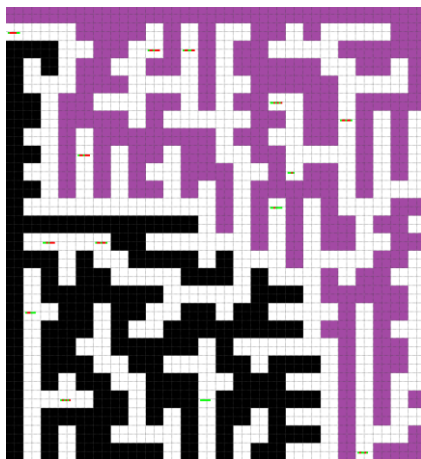


Рис. 3. Флаг, при декодировании

На основе двух решений, рассмотренных выше, можно сделать вывод о том, что для поиска флага наиболее эффективным и быстрым способом в данном случае, оказался второй способ, так как на решение конкретно этой задачи этим способом требуется меньше времени, чем для написания программного модуля, реализующего данное задание.

Библиографический список

1. Алексеев А.П. Информатика 2015: учеб. пособие. – М.: СОЛОН-пресс, 2015. – 400 с.
2. Алексеев А.П. Сборник по дисциплине «Информатика». Ч. 1. Учебное пособие по дисциплине информатика, для студентов первого курса специальностей 10.03.01 и 10.05.02. – М.: СОЛОН-пресс, 2017. – 256 с.

3. Как найти выход из лабиринта с помощью Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://yandex.ru/turbo/nuancesprog.ru/s/p/11147> (дата обращения: 07.05.2021).

Сведения об авторах

Аникин Семён Алексеевич – студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, гр. ИБТС-82, г. Самара, e-mail: Seminanikin@mail.ru

Прошечкина Наталья Викторовна – доцент кафедры РИС Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: natasha_rpu@mail.ru

Караулова Ольга Александровна – ассистент кафедры ИБ Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: olya4369@yandex.ru

Р.Д. Лукоянов, С.В. Смирнова, Р.Н. Мушарапов

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СНЯТИЯ БИОПОТЕНЦИАЛОВ МЫШЦ

Рассматривается структурная схема информационно-измерительной системы для снятия биопотенциалов мышц. Данное устройство может быть использовано как в медицинских целях для реабилитации пациента после травм и различных болезней, так и для тренировочного процесса спортсменов. Данное устройство можно использовать как дополнительную функцию в тренажерах, чтобы избежать перегрузки и растяжения мышц, так как из-за данных травм спортсмен не сможет принять участие в соревновании.

Ключевые слова: биопотенциалы мышц, структурная схема, усилитель, приемопередатчик.

R.D. Lukyanov, S.V. Smirnova, R.N. Musharapov

INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR REMOVING MUSCLE BIOPOTENTIALS

The article deals with the block diagram of the information and measurement system for the removal of muscle biopotentials. This device can be used both for medical purposes for the rehabilitation of a patient after injuries and various diseases, and for the training process of athletes. This device can be used as an additional function in simulators to avoid overloading and stretching the muscles, since due to these injuries, the athlete will not be able to participate in the competition.

Keywords: muscle biopotentials, block diagram, amplifier, transceiver.

На данный момент существует большое количество устройств для снятия биопотенциалов мышц. Существует два метода снятия биоэлектрического потенциала – инвазивный, суть которого заключается во введении игольчатого электрода в мышцу, и неинвазивный с помощью поверхностных электродов. Чаще всего в медицине используется инвазивный метод, потому что он дает более точный результат. Но инвазивный метод довольно-таки болезненный и не пригоден для повседневного использования, поэтому с этой целью логичнее использовать поверхностные электроды.

Информационно-измерительная система для снятия и регистрации биопотенциала мышц (рисунок) может применяться в различных областях. Данную систему можно использовать для пациентов, страдающих заболеваниями опорно-двигательного аппарата, а также как дополнение в тренажерах для развития мышц кистевого сустава и мышц верхнего плечевого пояса, а также для физического развития и тренировок при занятии армрестлингом или другим видом спорта.

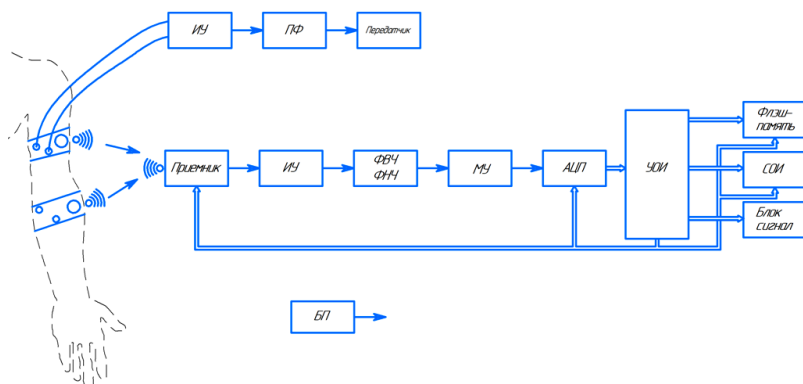


Рис. Структурная схема информационно-измерительной системы для снятия биопотенциалов мышц

Информационно-измерительная система для снятия и регистрации электромиограммы состоит из двух модулей: передачи и приема. Для более удобного использования модуль снятия выполнен в виде браслета, который имеет беспроводную связь с блоком обработки информации. В браслет встроены «сухие» электроды для удобного использования системой ежедневно, потому что в данном случае не используется специальный гель для улучшения электропроводимости.

Модуль передачи состоит из двух каналов – канал снятия биопотенциалов и канал передачи сигнала с устройства передачи на устройство приема. В состав канала снятия биопотенциалов входят два электрода, один из которых стимулирующий Э1, а другой – снимающий биоэлектрический потенциал скелетной мышцы Э2, инструментальный усилитель ИУ и полосовой фильтр ПФ. С электродов сигнал поступает на инструментальный усилитель, который усиливает биоэлектрический сигнал для дальнейшей его передачи на устройство

приема. Снимаемый биологический сигнал мышцы очень мал для передачи по беспроводной связи, поэтому его необходимо усилить.

После инструментального усилителя сигнал поступает на полосовой фильтр для фильтрации сигнала от помех. Полосовой фильтр пропускает сигнал, находящийся в определенной полосе частот, представляющий собой последовательность фильтров верхних и нижних частот.

Отфильтрованный сигнал через канал передачи, осуществляемый посредством Bluetooth связи, передается на модуль приема.

Модуль приема сигнала состоит из приемника сигнала, поступающего с модуля передачи, инструментального усилителя, фильтров верхних и нижних частот, масштабирующего усилителя, аналого-цифрового преобразователя, устройства обработки информации, флэш-памяти, средства отображения информации и блока сигнализации.

С модуля передачи сигнал поступает на приемник, который управляется устройством обработки информации. Далее сигнал поступает на инструментальный усилитель, который усиливает поступивший сигнал.

Фильтры верхних и низких частот фильтруют усиленный сигнал с инструментального усилителя. Фильтр верхних частот срезают частоту выше 40 Гц, потому что частота, превышающая данное значение, не несет нужной информации. Фильтры низких частот срезают частоту ниже 6 Гц, которая не представляет для нас ценности.

Отфильтрованный сигнал поступает на масштабирующий усилитель. Он усиливает аналоговый сигнал, а на выходе имеет стандартный сигнал, который имеет диапазон от -5 до $+5$ В.

Аналого-цифровой преобразователь преобразует аналоговый сигнал в цифровой для дальнейшей обработки сигнала в устройстве обработки информации.

Устройство обработки информации обрабатывает сигнал, сравнивает поступающий сигнал с заданным диапазоном. В случае превышения заданного диапазона сигнал поступает на блок сигнализации и происходит сигнализация, информирующая пользователя или врача, в зависимости от цели использования (для тренировки или реабилитации).

С устройства обработки информации результат поступает на индикацию для вывода пользователю. Также сигнал поступает и во флэш-память, чтобы сохранить полученный результат для сравнения и диагностики.

Библиографический список

1. Патент на изобретение US №2018/0153430 A1, 29.11.2017 г. Dexter W. Ang, Brookline, MA (US); David O Cipoletta, Chepachet, RI (US); Samuel J. Karnes, Brookline, MA (US); Michael Kowalczyk, Brookline, MA (US); Sidhant Srikumar, Brookline, MA (US), DETECT-ING AND USING BODY TISSUE ELECTRICAL SIGNALS // Опубл. 07.06.2018 г. Бюл. № 21.

Сведения об авторах

Лукоянов Роман Денисович – студент Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, e-mail: lukoyanov.1999@mail.ru

Смирнова Светлана Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронное приборостроение и менеджмент качества» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, e-mail: sv.smirnova@gmail.com

Мушаратов Рустем Наилевич – аспирант кафедры «Электронное приборостроение и менеджмент качества» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, e-mail: mrn.musharapov@yandex.ru

К.А. Федосеева

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ ПАТТЕРНОВ БЛИКОВ ПЕНЫ ФЛОТАЦИОННОЙ МАШИНЫ К ПОРОГУ БИНАРИЗАЦИИ

Исследована чувствительность метода бликового распознавания пузырьков в флотационной пене к освещенности кадра и к ошибке выбора порога бинаризации. Сделаны выводы о необходимости исключения затемненных кадров из обработки и желательности малого повышения порога бинаризации для снижения погрешности.

Ключевые слова: флотация, техническое зрение, распознавание.

K.A. Fedoseeva

SENSITIVITY OF RECOGNITION OF FLARE PATTERNS FROM FOTATION MACHINE TO BINARIZATION THRESHOLD

The sensitivity of the method of glare recognition of bubbles in flotation foam to the illumination of the frame and to the error in choosing the binarization threshold is investigated. Conclusions about the need to exclude darkened frames from processing and about the desirability of a small increase in the binarization threshold to reduce the error are made.

Keywords: flotation, computer vision, recognition.

Визуальный контроль за вспениванием широко распространен как в пищевой промышленности, так и в химико-технологических процессах, связанных с образованием пенного слоя. К последним относятся процессы флотации угля, полиметаллических и калийных руд. Влияние человеческого фактора при управлении этими процессами может привести к ошибкам, ухудшению качества или количества произведенной продукции [1]. Для автоматизации управления многие авторы предлагают использовать видеонаблюдение за поверхностью пенного слоя. Захваченные кадры обрабатываются для распознавания пузырьков. На основании разного рода статистик (ровности пены, размера пузырьков, их формы и цвета и т.п.) производится идентификация технологической ситуации и автоматически синтезируются управляющие воздействия.

При переливной флотации калийных руд образуется блёклая цветная пена, границы пузырьков не просматриваются визуально и плохо распознаются. Авторы [2] впервые предложили распознавать

не границы пузырьков, а блики, возникающие на них от точечного источника освещения, почти основного в видеокамере.

Весьма важным является определение порога бинаризации (освещенность пикселя от 1 до 254) при обработке серого изображения. Порог бинаризации аппроксимируют линейной зависимостью от средней освещенности обрабатываемой области кадра с погрешностью порядка 7–8 %. Эта погрешность была получена на достаточно коротких съемках (до 200 обработанных кадров), тогда как на производстве их количество будет превышать десятки тысяч в сутки. Неправильный порог бинаризации приведет к ложной сигнализации об отклонениях в процессе и только усугубит человеческий фактор – ведь флотатору придется отвлекаться от всех остальных задач для оценки ситуации и квитирования сигнала. Целью этой статьи является исследование чувствительности метода к ошибкам определения порога бинаризации.

Для исследования были обработаны 20 экспериментальных съемок на флотационных машинах разных типов, произведенных как с дополнительным источником освещения, так и при естественном цеховом освещении. Затем в ходе определения оптимального порога бинаризации были записаны зависимости количества пузырей от порога для каждого обработанного кадра. Далее они называются профилями подбора порога бинаризации. Профили слабо освещенных кадров имеют два максимума (рис. 1).

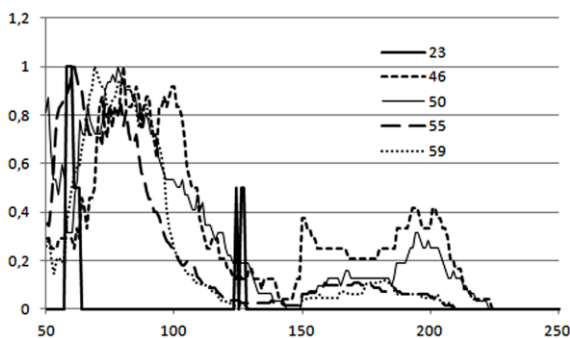


Рис. 1. Профили бинаризации

Количество пузырей, распознанных в кадре, до освещенности кадра порядка 50 растет почти линейно и только в среднем свыше 55 начинает выполаживаться (рис. 2). Это говорит о том, что при освещенности ниже 55–60 бликовый метод распознавания дает неверные

результаты, ведь никаких возмущений в технологический процесс за время съемки не вносилось, и поэтому усредненный тренд должен быть горизонтальным.

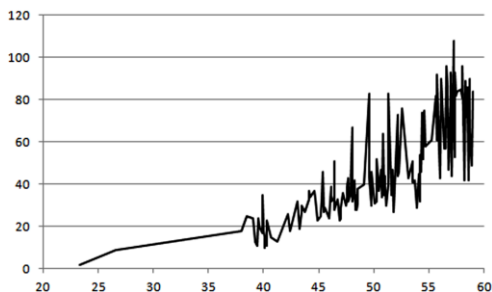


Рис. 2. Зависимость количества пузырей в кадре от его освещенности

В результате статистического и визуального анализа полученных профилей были сделаны два практически важных вывода.

1. Кадры, полученные при недостаточной освещенности, не несут полезной информации для управления и не должны учитываться при расчете аппроксимационной зависимости порога бинаризации от средней освещенности кадра.

2. Для большинства профилей, исключая колонную машину, чувствительность к снижению порога больше, чем к его повышению.

Библиографический список

1. Mohr J., Park J.-H., Klaus Obermayer K. A computer vision system for rapid search inspired by surface-based attention mechanisms from human perception // Neural Networks. – 2014. – Vol. 60. – P. 182–193.

2. Затонский А.В., Варламова С.А. Использование бликовых отражений для автоматического распознавания параметров пены при флотации калийных руд // Обогащение руд. – 2016. – № 2(62). – С. 49–56.

Сведения об авторе

Федосеева Кристина Александровна – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» электротехнического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kristya_0103@mail.ru

П.А. ЯЗЕВ

ОСНАЩЕНИЕ МОДЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРНО-ВЫЕМОЧНОГО КОМПЛЕКСА ПО ДАННЫМ ОБ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИИ

Исследуется проблема оснащения имитационной модели горных выработок. Предложен метод анализа данных по энергопотреблению отдельных двигателей горно-выемочной машины. В качестве примера описан один из используемых в ПАО «Уралкалий» комбайнов марки Урал-20Р. Указаны все электродвигатели комбайна, по которым можно определить выполняемую им работу. Представлен алгоритм определения некоторых состояний комбайна по данным об энергопотреблении его двигателей.

Ключевые слова: моделирование, планирование, горно-выемочная машина, электродвигатель.

P.A. YAZEV

EQUIPMENT OF A MINING MACHINE MODEL ACCORDING TO ENERGY CONSUMPTION DATA

This article is devoted to the problem of equipping a simulation mining model. As a possibility to solve the problems, a method of mining machine electric motors energy consumption data analyzing is proposed. As an example, one of the Ural-20R machine used at Uralkali is described. All electric motors of the mining machine are described. It is possible to determine the work performed by the mining machine using this data. An algorithm for determining some states of the mining machine according to the data on the energy consumption of its electric motor is presented.

Keywords: modeling, planning, mining machine, electric motor.

Одной из основных задач в работе администрации горнодобывающего предприятия является составление плана добычи на разные горизонты планирования. Одним из способов улучшения качества такого планирования является имитационное моделирование [1]. Такая модель для калийного рудника была создана нами ранее [2], однако она была оснащена исключительно данными из открытых источников, являющимися справочными данными, которые в реальности могут отличаться не только от предприятия к предприятию, но и в пределах одного рудника и даже пласта.

В качестве решения этой проблемы предлагается оснастить модель работы комбайна данными, полученными путем анализа энергопотребления отдельных частей комбайна. В качестве примера рассматривается комбайн Урал-20Р, используемый на рудниках ПАО «Уралкалий» в г. Березниках Пермского край, часть электрооборудования которого показана на рис. 1 [3].

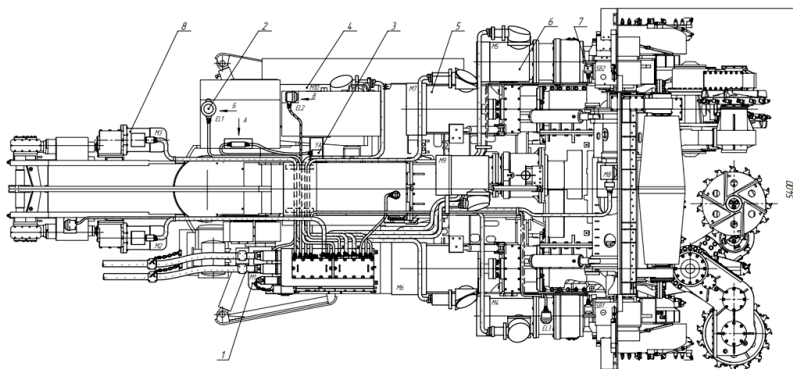


Рис. 1. Электрооборудование комбайна Урал-20Р: 1 – двигатель пылеотсоса, 2 – светильник кабины, 3 – электрогидрораспределитель, 4 – двигатель насосной станции, 5 – двигатель режущих дисков, 6 – двигатель бермового органа, 7 – кнопочный пост, 8 – двигатель конвейера

Всего в данной модели комбайна восемь электродвигателей, по работе которых можно определить выполняемую в данный момент технологическую операцию:

- 1) привод пылеотсоса;
- 2) привод конвейера;
- 3) привод бермового органа;
- 4) привод переносного вращения;
- 5) привод насосной станции;
- 6) привод вентилятора;
- 7) привод режущих дисков;
- 8) привод отбойного устройства.

Рассмотрим основную операцию, которую выполняет комбайн, работу по отбойке руды. При начале работы по отбойке руды двигатели включаются последовательно: привод вентилятора, привод пылеотсоса, привод насосной станции, привод конвейера, привод бермового органа, привод режущих дисков и последним – привод пере-

носного вращения. По последовательному изменению показателей работы этих двигателей мы можем точно сказать, что комбайн перешел в состояние «отбойка руды».

После отбойки руды комбайн может перейти в одно из следующих состояний: перегрузка руды на самоходный вагон; отгон комбайна; выполнение различных технических обслуживаний (ТО), перерывы или простои в работе. Для начала отгрузки руды в самоходный вагон отключает комбайн последовательно следующие двигатели: привод конвейера, затем привод бермового органа. При окончании перегрузки в случае продолжения отбойки руды эти же двигатели включаются.

В случае отгона у комбайна работают только следующие двигатели: привод вентилятора, привод пылеотсоса, привод насосной станции, и может работать привод бермового органа. При простое или ТО отключаются все двигатели. Фрагмент блок-схемы алгоритма по определению операции, выполняемой комбайном, реализующий описанный случай, показан на рис. 2.

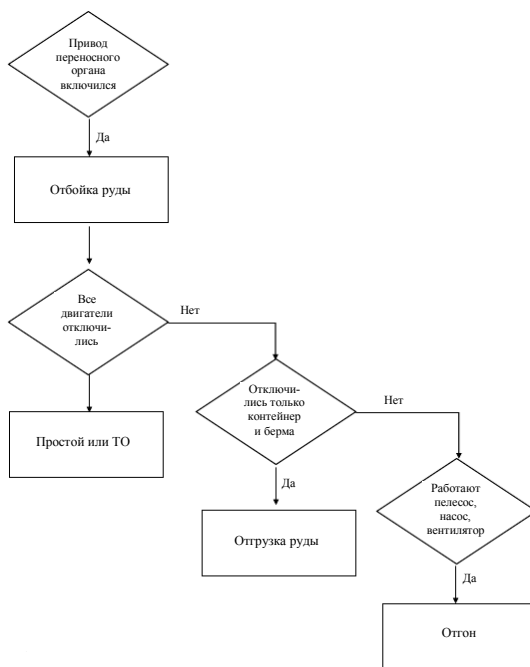


Рис. 2. Фрагмент блок-схемы алгоритма по определению выполняемой комбайном операции

Получив таким образом данные о начале и окончании технологических операций, мы определим их длительность, что и служит данными для оснащения модели.

Таким образом, была показана возможность оснащения горно-выемочного комплекса с помощью данных по энергопотреблению отдельных двигателей такой машины и представлен алгоритм, с помощью которого, анализируя данные по энергопотреблению отдельных комбайнов, можно определять длительности выполнения отдельных технологических операций.

Библиографический список

1. Шек В.М., Соболева М.Ю. Использование имитационного моделирования для оптимизации проведения горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 10. – С. 201–205.

2. Разработка имитационной модели для планирования горно-выемочных работ / С.А. Варламова, Ю.И. Володина, А.В. Затонский, П.А. Язев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 214–222. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-100-214-222

3. Комбайн прохоческо-очистной «Урал-20Р». Руководство по эксплуатации 41.00.00.000.РЭ.

Сведения об авторе

Язев Павел Александрович – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: yazev1988@gmail.com

Е.А. Митюков

АЛГОРИТМ ВАЛИДАЦИИ SSL/TLS СЕРТИФИКАТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Представлены два варианта конфигурации механизмов защиты передачи данных между клиентами и Web-ресурсом. Отражена активность злоумышленников в части использования данных механизмов для реализации фишинговых ресурсов, используемых в последующих атаках. Предложен алгоритм, позволяющий идентифицировать фишинговые ресурсы, использующие не валидные сертификаты по ряду признаков.

Ключевые слова: информационная безопасность, фишинг, промышленные автоматизированные системы, механизмы защиты, кибератаки.

E.A. Mityukov

ALGORITHM OF VALIDATION SSL/TLS CERTIFICATE TO PROTECT PRODUCTION AUTOMATION SYSTEM

This article presents two kinds of security configuration mechanisms that can be able to use to protect data transmission between clients and Web-resource. A fact of using these mechanisms for creating phishing resources by cybercriminals was shown. An algorithm that allows to identify phishing resources using invalid certificates was proposed.

Keywords: information security, phishing, production automation system, security mechanisms, cyberattacks.

Для обеспечения защищенной передачи данных между клиентом и веб-ресурсом, будь то фишинговый или легитимный, используются криптографические протоколы Secure Sockets Layer (SSL) и Transport Layer Security (TLS). Одним из важнейших элементов при использовании данных протоколов является использование цифровых сертификатов. На сегодняшний день возможны две конфигурации при их практической реализации:

1. Использование сертификата SSL/TLS, выданного общедоверенным центром сертификации. В данном случае ресурсу, который использует сертификат, будут доверять все браузеры и операционные системы, поскольку общедоверенные центры сертификации

добавлены в локальное хранилище операционной системы или браузера по умолчанию.

2. Использование самоподписанного SSL/TLS сертификата. Здесь доверия к ресурсу не будет, если принудительно не разрешить переход по ссылке внутри браузера пользователя или без добавления публичного ключа сертификата или центра сертификации (выпустившего данный сертификат) в доверенные.

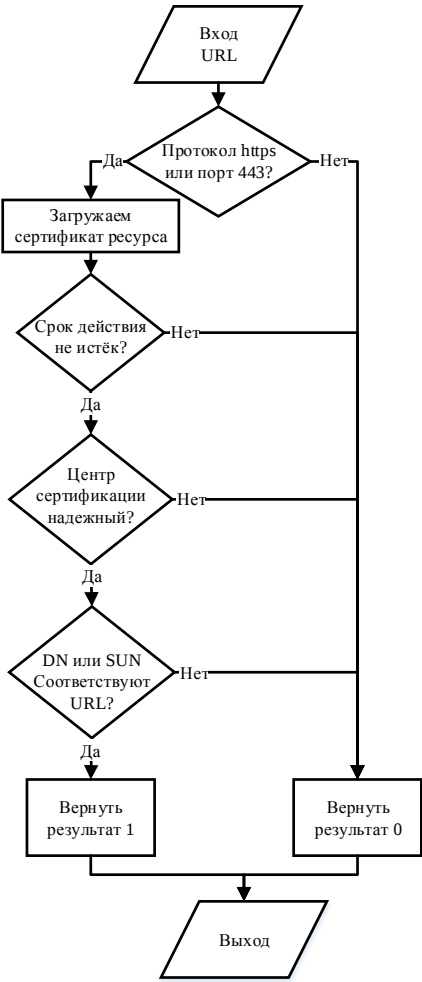


Рис. Алгоритм валидации SSL/TLS сертификата

Как правило, сертификаты выпускаются центрами сертификации. Каждый сертификат содержит путь сертификации, который представляет из себя иерархическую структуру центров сертификации, которые принимали участие в выпуске сертификата, и сам сертификат. Центры сертификации в пути сертификации могут быть представлены как корневые (root), если нет вышестоящих центров сертификации, либо промежуточные (intermediate), если они есть.

В свою очередь, протоколы шифрования широко применяются злоумышленниками для шифрования данных при передаче между фишинговым ресурсом и пользовательским ПК. Несмотря на то что современные браузеры имеют множество механизмов проверки валидности сертификатов, браузеры дают пользователю возможность принять возможные риски, что потенциально может привести к реализации фишинговой атаки. С целью идентификации фишинговых ресурсов, использующих невалидные SSL/TLS сертификаты, и обнаружения атаки до загрузки страницы браузером пользователя разработан алгоритм, представленный на рисунке [2]. Алгоритм предварительно проверяет протокол URL-адреса, затем если в URL найдены 443 порт или https протокол, тогда выполняется проверка сертификата данного URL.

Описание работы алгоритма:

1. На вход подаётся URL.
2. Функции алгоритма обрезают протокольную часть URL и часть, содержащую номер порта, полный путь до страницы.
3. Проверяем протокольную часть страницы, если обнаружен протокол https или порт 443, переход на шаг 4, в противном случае – на шаг 7.
4. Загружаем сертификат ресурса.
5. Если сегодняшняя дата, в пределах срока действия сертификата, то на шаг 6, иначе на шаг 8.
6. Верифицируем сертификат командой при помощи команды openssl, если в сертификат выпущен не доверенным центром сертификации, на шаг 8, в противном случае – на шаг 7.
7. Проверяем поля Distinguished Name (DN), Subject Alternative Name (SAN) и Subject сертификата на наличие домена из исследуемого URL-адреса в этом поле. Если домен отсутствует, значит сертификат выпущен на другое/другие доменные имена, на шаг 8, иначе – на шаг 9.

8. Вернуть 0.

9. Вернуть 1.

В результате выполнения алгоритма, если обнаружен протокол https или порт 443 и ресурс использует сертификат, выпущенный доверенным корневым центром сертификации, алгоритм возвращает 1, что говорит о том, что исследуемый ресурс – легитимный, в противном случае ресурс – подозрительный, и возвращается 0.

Алгоритм предлагается использовать в качестве одного из фильтров в системе анализа URL-адресов на предмет фишинговости. Его применение позволит детектировать фишинговые веб-ресурсы, на которых не используются сертификаты; сертификат которых истек или выпущен недоверенным центром сертификации; сертификат которых выпущен на доменное имя, не указанное в DN/SAN полях сертификата.

Библиографический список

1. Затонский А.В. Информационные технологии: Разработка информационных моделей и систем. – М.: ИЦ Риор, 2014. – 344 с.

2. Митюков Е.А., Затонский А.В. Модель обнаружения фишинговых атак на основе гибридного подхода для защиты автоматизированных систем управления производством // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 56–66.

3. Митюков Е.А., Затонский А.В. Модель определения фишинга на основе гибридного подхода для защиты АСУП // Защита информации. Инсайд. – 2020. – № 3 (93). – С. 42–47.

Сведения об авторе

Митюков Евгений Алексеевич – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» электротехнического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: the_nomad@mail.ru

Н.А. Сиротина

КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В УПРАВЛЕНИИ ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Построены конечно-разностные модели природно-ресурсного потенциала Пермского края. Осуществлен прогноз факторов, на их основе выполнен расчет соответствующих модельных значений. Выработана система рекомендаций для краевого правительства по краткосрочному управлению природно-ресурсным потенциалом Пермского края.

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал, конечно-разностная модель, прогнозирование, система рекомендаций.

N.A. Sirotina

FINITE-DIFFERENCE MODELING FOR NATURAL RESOURCE POTENTIAL MANAGEMENT IN PERM REGION

In this article, finite-difference models of the natural resource potential of the Perm Region are constructed. The forecast of factors is carried out, on their basis the calculation of the corresponding model values is made. A system of recommendations for the regional government on short-term management of the natural resource potential of the Perm Region is developed.

Keywords: natural resource potential, finite difference model, forecasting, recommendation system.

Для обеспечения эффективного управления устойчивым региональным развитием необходимо учитывать перспективы использования имеющихся природных ресурсов. Комплексным показателем их совокупности в рамках региона является природно-ресурсный потенциал. Ряд авторов разрабатывают вопрос эффективного освоения и управления природно-ресурсным потенциалом (ПРП) посредством моделирования инвестиционных денежных потоков на примере различных стран и регионов: Африки [1, 2], Таджикистана [3], Китая [4].

Методы математического моделирования широко применимы для моделирования и прогнозирования, а следовательно, и управления природными ресурсами территории [5, 6]. Так, в работе [7] представлены математические модели добычи природного газа на региональном и мировом уровнях. Однако такой подход предполагает наличие адекват-

ного математического критерия, подлежащего оптимизации, а также системы ограничений, а при их отсутствии данный метод практически неприменим. В работе [10] разработана нелинейная математическая модель управления морскими природными ресурсами в форме системы нелинейных дифференциальных уравнений и выполнено ее исследование в рамках теории устойчивости динамических систем. Применение данного подхода возможно в случае, когда исследуемая система может быть адекватно описана системой обыкновенных дифференциальных уравнений. В [11] авторы применяют детерминированную и стохастическую модели с целью оценки влияния осадков на лесные ресурсы для определения наличия и устойчивости равновесного состояния системы в зависимости от ее параметров и характеристик случайной составляющей. В [12] авторами предпринята попытка оценки регионального развития экономики в форме системы дифференциальных уравнений. В целом, детерминированные факторные модели в большей степени подходят для технических и физических систем, а поведение сложных социально-экономических систем не всегда адекватно описывают.

В качестве объекта исследования выбран ПРП Пермского края, целесообразно оценить влияние изменения управляемых и неуправляемых факторов на его величину и выработать систему рекомендаций по краткосрочному управлению ПРП Пермского края с целью компенсации негативных тенденций определяющих его факторов. Изучение имеющейся статистической информации в открытых источниках позволило установить набор показателей, определяющих уровень ПРП Пермского края (табл. 1).

Таблица 1

Факторы, определяющие природно-ресурсный потенциал Пермского края

Обозначение	Наименование
X_1	Посевные площади сельскохозяйственных культур, тыс. га
X_2	Среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.
X_3	Инвестиции в основной капитал предприятий, млн руб.
X_4	Внесение удобрений: минеральные удобрения, тыс. т.
X_5	Внесение удобрений: органические удобрения, тыс. т.
X_6	Стоимость основных фондов на конец года, млн руб.
X_7	Лесовосстановление, тыс. га
X_8	Число предприятий и организаций на конец года
X_9	Цена нефти Brent (среднегодовое значение), USD за баррель
X_{10}	Экспорт продукции ТЭК, млн USD

Полученные в результате уравнения КРМ-1 и КРМ-2 имеют вид соответственно

$$Y_{\text{КРМ-1}}(t_k) = -2,679 + 0,686 \cdot Y_{\text{КРМ-1}}(t_{k-1}) + 4,594 \cdot X_1(t_k) - 2,894 \cdot X_2(t_k) + 2,095 \cdot X_6(t_k) - 1,876 \cdot X_7(t_k) + 2,532 \cdot X_8(t_k) + 3,009 \cdot X_9(t_k) + 0,291 \cdot X_{10}(t_k) \quad (1)$$

и

$$Y_{\text{КРМ-2}}(t_k) = -3,086 + 0,871 \cdot Y_{\text{КРМ-2}}(t_{k-1}) + 0,129 \cdot Y_{\text{КРМ-2}}(t_{k-2}) + 5,561 \cdot X_1(t_k) - 3,678 \cdot X_2(t_k) + 2,098 \cdot X_6(t_k) - 2,318 \cdot X_7(t_k) + 2,998 \cdot X_8(t_k) + 3,696 \cdot X_9(t_k) + 0,270 \cdot X_{10}(t_k). \quad (2)$$

На основании полученных значений факторов были рассчитаны центральные точки прогноза – значения ПРП Пермского края в соответствии с уравнениями (1) и (2) при $t_k = 12$, $Y_{\text{КРМ-1}}(t_k = 12)$ и $Y_{\text{КРМ-2}}(t_k = 12)$ (табл. 2).

Таблица 2

Центральные точки прогноза

№ п/п	Фактор	Метод прогноза	Прогноз на 2019 г. ($t_k = 12$)
1	X_1	$\text{ТР}_{\text{ср}} = 1,010$	0,188
2	X_2	$X_2(t_k) = -0,1026 \cdot t_k + 1,1724$, $t_k = 12$	-0,161
3	X_6	$\text{ОС}_{\text{КП}}(2018) + \text{ОС}_{\text{ПОСТ}}(2019) - \overline{\text{ОС}_{\text{ВЫБ}}}$	1,033
4	X_7	$X_7(t_k) = 0,0823 \cdot t_k - 0,0673$, $t_k = 12$	0,920
5	X_8	$\text{ТР}_{\text{ср}} = 0,982$	0,240
6	X_9	$\text{ТР}_{\text{ср}} = 0,963$	0,382
7	X_{10}	$\text{ТР}_{\text{ср}} = 0,931$	0,410
8	$Y_{\text{КРМ-1}}(t_k = 12)$	В соответствии с уравнением (1)	1,332
9	$Y_{\text{КРМ-2}}(t_k = 12)$	В соответствии с уравнением (2)	2,376

Возможность управления факторами, определяющими ПРП, может быть установлена на основании их качественного анализа, т.е. деления факторов на управляемые и неуправляемые.

Их наличие позволяет определить соответствующие уровни ПРП по каждому из уравнений (1) и (2) (табл. 3).

Поскольку положительной динамикой ПРП является рост, то наихудший сценарий из рассмотренных соответствует снижению обоих неуправляемых факторов на 5 %, т.е. $Y_{\text{КРМ-1}}(t_k = 12) = 1,266$, $Y_{\text{КРМ-2}}(t_k = 12) = 2,313$.

КРМ прогнозы ПРП при изменениях неуправляемых факторов

	КРМ-1			КРМ-2		
	$X_2 - 5\%$	X_2	$X_2 + 5\%$	$X_2 - 5\%$	X_2	$X_2 + 5\%$
$X_9 - 5\%$	1,266 (-4,956%)	1,275 (-4,317%)	1,283 (-3,679%)	2,313 (-3,403%)	2,323 (-2,952%)	2,334 (-2,500%)
X_9	1,324 (-0,639%)	1,332 (0,0%)	1,341 (0,639%)	2,383 (-0,452%)	2,394 (0,0%)	2,405 (0,452%)
$X_9 + 5\%$	1,381 (3,679%)	1,390 (4,317%)	1,398 (4,956%)	2,454 (2,500%)	2,465 (2,952%)	2,476 (3,403%)

Тогда снижение уровня ПРП относительно его центральной точки прогноза составит $\Delta Y_{\text{КРМ-1}}^{\text{неупр}} = 1,266 - 1,322 = -0,066$, $\Delta Y_{\text{КРМ-2}}^{\text{неупр}} = 2,313 - 2,394 = -0,081$. Для успешного управления уровнем ПРП необходимо добиваться компенсации отрицательной динамики вследствие воздействия неуправляемых факторов путем управления значениями контролируемых факторов.

Библиографический список

1. The politics of natural resource investments and rights in Africa: A theoretical approach / L. Buur, R. Pedersen, M. Nystrand, J. Macuane, T. Jacob // The Extractive Industries and Society. – 2020. – Vol. 7. – P. 918–930.
2. Ходиев Д.А., Хофизов Ф.А. Моделирование и прогнозирование привлечения инвестиций для освоения природно-ресурсного потенциала региона // Вестник Таджикского национального университета. – 2018. – № 6. – С. 30–36.
3. Investment risk and natural resource potential in “Belt & Road Initiative” countries: A multi-criteria decision-making approach / J. Hussain, K. Zhou, S. Guo, A. Khan // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 723. 137981 p.
4. Горячев А.А. Моделирование добычи в мировых и региональных оптимизационных газовых моделях // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2015. – № 6. – С. 51–58.

5. Biswas M.H., Hossain M.R., Mondal M.K. Mathematical Modeling Applied to Sustainable Management of Marine Resources // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 19. – P. 337–344.

6. Lata K., Misra A.K. The influence of forestry resources on rainfall: A deterministic and stochastic model // *Applied Mathematical Modelling*. – 2020. – Vol. 81. – P. 673–689.

7. Курышев Н.И. Модель и способ оценки эколого-экономического состояния регионов // *Вестник кибернетики*. – 2005. – № 4. – С. 149–158.

Сведения об авторе

Сиротина Наталья Александровна – старший преподаватель кафедры «Общественно-научные дисциплины» Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Березники, e-mail: nsirotna117@mail.ru

Е.Б. Кроха, Л.Ю. Прозорова

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ
СРЕДНЕГО БАЛЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЕГЭ АБИТУРИЕНТОВ,
ПОСТУПАЮЩИХ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ ПНИПУ**

Предполагается построение модели планирования среднего балла абитуриентов по результатам ЕГЭ, произведена попытка определения тенденции среднего балла, а также получения прогнозных значений с использованием таких методов описания временных рядов, как простая скользящая средняя, взвешенная скользящая средняя и аналитическое выравнивание временных рядов.

Ключевые слова: математическая модель, средний балл ЕГЭ, электротехнический факультет, анализ данных, тенденция, прогноз.

E.B. Krokha, L.Yu. Prozorova

**CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL
FOR PLANNING THE AVERAGE SCORE BY THE RESULTS
OF THE USE OF ENTRANTS ENTRYING THE ELECTRICAL
FACULTY OF PNRPU**

The paper assumes the construction of a planning model for the annual average score of applicants based on the USE results, an attempt was made to determine the dependence of the average score on the year based on data for the last 11 years, as well as to construct predicted values for 3 years ahead using such methods for describing time series as moving average, weighted moving average, analytical time series alignment.

Keywords: mathematical model, average USE score, electrical engineering faculty, data analysis, trend, forecast.

В настоящее время для поступления в университет абитуриенту необходимо сдать единый государственный экзамен, на электротехнический факультет ПНИПУ – по трем предметам: русскому языку, математике, физике/информатике. Средний балл поступающих по трем предметам каждый год меняется, поэтому абитуриенты пребывают в состоянии неопределенности на протяжении времени подготовки и поступления, не имея ориентира. В связи с этим возникает

необходимость анализа и прогнозирования ежегодного среднего балла абитуриентов по результатам ЕГЭ. Кроме того, данный прогноз даст возможность деканату корректировать план приема документов на поступление и учебные планы [1, 2].

Для решения поставленной задачи необходимо построить модель, которая отразит тенденцию среднего балла абитуриентов по результатам ЕГЭ. В настоящем исследовании проведена попытка определения тенденции среднего балла на основе данных за последние 11 лет, а также построения прогнозных значений на 3 года вперед.

Источником данных текущего исследования выбраны данные о среднем балле абитуриентов по результатам ЕГЭ за последние 11 лет электротехнического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета, представленные в таблице.

Исследуемый показатель

№ п/п	Балл	Год
1	184,6	2010
2	173	2011
3	201	2012
4	212,3	2013
5	192,5	2014
6	198,3	2015
7	200,2	2016
8	214	2017
9	209,9	2018
10	213,3	2019
11	219,1	2020

Таким образом, в результате исследования необходимо получить зависимость и прогнозные значения по используемым данным. Для этого были поставлены и решены следующие задачи:

1. Определить наличие тенденции временного ряда, используя методы описания временных рядов: простая скользящая средняя, взвешенная скользящая средняя, а также аналитическое выравнивание временных рядов при помощи модуля анализа данных.
2. Рассчитать формальные критерии аппроксимации и значимость коэффициентов регрессии и детерминации.
3. Получить прогнозные значения.

В ходе выполнения исследования решено использовать программу Excel с пакетом «Анализ данных».

Для метода «простая скользящая средняя» используется интервал сглаживания, равный 3, и вычисляются сглаженные значения.

Результаты вычисления представлены на рис. 1.

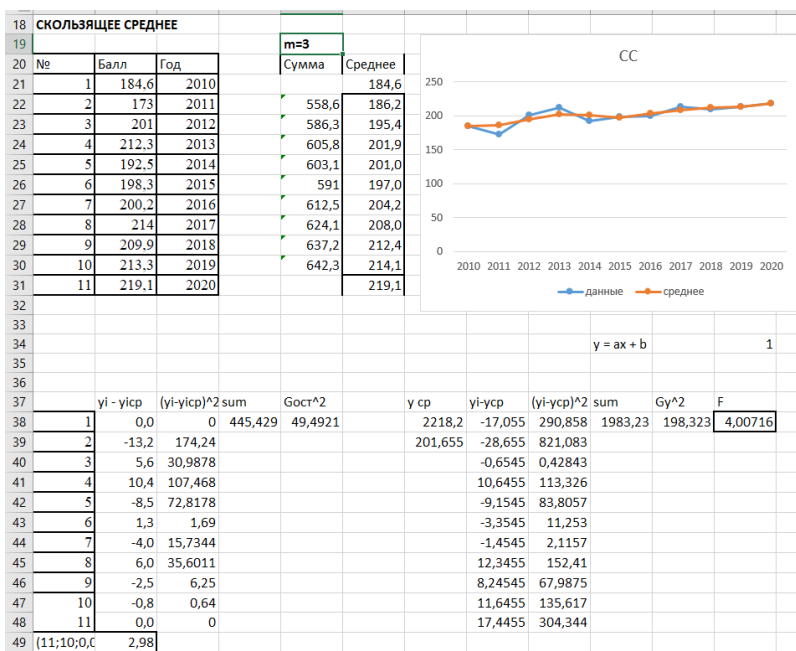


Рис. 1. Результаты метода «простая скользящая средняя»

Вычисленное значение (4,00716) больше табличного (2,98), значение немного больше, поэтому нельзя с уверенностью сказать, что модель адекватна. Поэтому построим модель методом «взвешенная скользящая средняя».

Для данного метода используем интервал сглаживания, равный 5, с системой весов $m = 5, 1/35 \cdot (-3, 12, 17, 12, -3)$.

На рис. 2 представлены график и полученные результаты, в том числе вычисления критерия Фишера: вычисленное значение (10,87) больше табличного (2,98) в 3,6 раза, что говорит о применимости данной модели.

Также для определения наличия тенденции временного ряда используется аналитическое выравнивание временных рядов: показа-

тельная, степенная и линейная функциональные зависимости. Построены функциональные зависимости (графики – рис. 2 анализ данных: показательная – рис. 3; степенная – рис. 4; линейная – рис. 5).

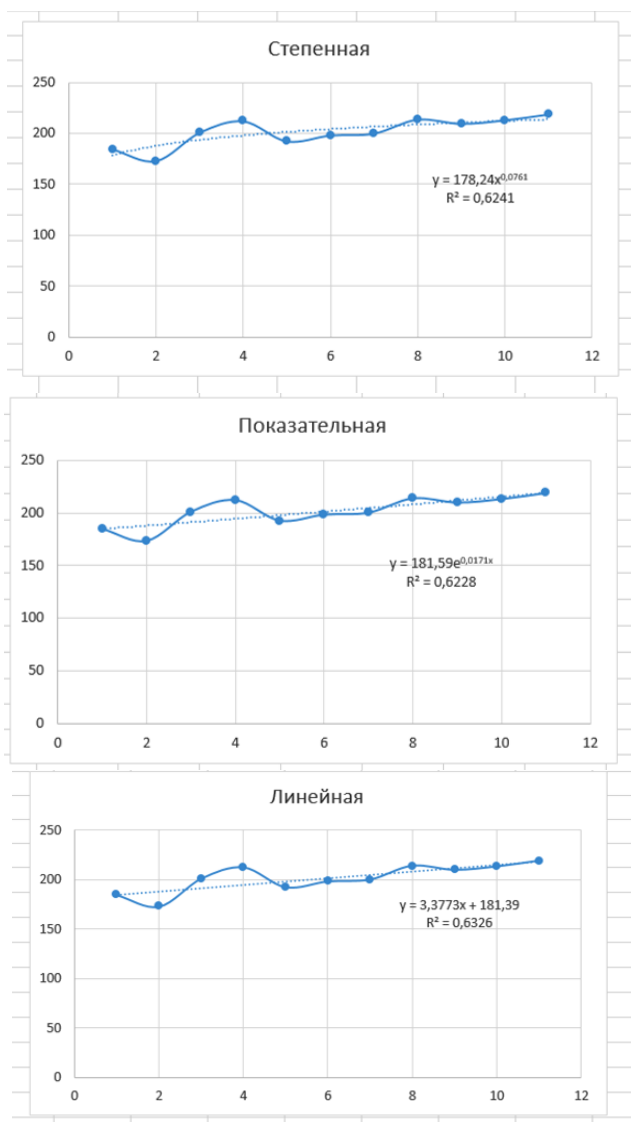


Рис. 2. Графики функциональных зависимостей

Вывод итогов								
Регрессионная статистика								
Множественный R	1							
R-квадрат	1							
Нормированный R-квадр	1							
Стандартная ошибка	2,49036E-16							
Наблюдения	11							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	1	0,0321651	0,0321651	5,18635E+29	9,7722E-131			
Остаток	9	5,58169E-31	6,20188E-32					
Итого	10	0,0321651						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>стандартная ошибок</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
У-пересечение	5,201751399	1,61044E-16	3,23002E+16	1,3305E-145	5,201751399	5,201751399	5,201751399	5,201751399
Переменная X 1	0,0171	2,37446E-17	7,20163E+14	9,7722E-131	0,0171	0,0171	0,0171	0,0171
Вывод остатка								
	<i>Наблюдение</i>	<i>Предсказанное Y</i>	<i>Остатки</i>					
	1	5,218851399	-8,88178E-16					
	2	5,215951399	-8,88178E-16					
	3	5,253051399	-8,88178E-16					
	4	5,270151399	0					
	5	5,287251399	0					
	6	5,304351399	0					
	7	5,321451399	-8,88178E-16					
	8	5,338551399	-8,88178E-16					
	9	5,355651399	-8,88178E-16					
	10	5,372751399	-8,88178E-16					
	11	5,389851399	0					

Рис. 3. Результат выполнения анализа данных для показательной функции

Вывод ИТОВОВ								
Регрессионная статистика								
Множественный R	1							
R-квадрат	1							
Нормированный R-квадр	1							
Стандартная ошибка	2,23634E-16							
Наблюдения	11							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	1	0,032152177	0,032152177	6,42889E+29	3,7176E-131			
Остаток	9	4,50108E-31	5,0012E-32					
Итого	10	0,032152177						
	Коэффициенты	стандартная ошиб.	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
У-пересечение	5,183130957	1,65384E-16	3,13399E+16	1,7458E-145	5,183130957	5,183130957	5,183130957	5,183130957
Переменная X 1	0,0761	9,4911E-17	8,01804E+14	3,7176E-131	0,0761	0,0761	0,0761	0,0761
Вывод ОСТАТКА								
	Наблюдение	Предсказанное Y	Остатки	ндртные остатки				
	1	5,183130957	-8,88178E-16	-0,845154255				
	2	5,235879457	-8,88178E-16	-0,845154255				
	3	5,266735352	-8,88178E-16	-0,845154255				
	4	5,288627958	-8,88178E-16	-0,845154255				
	5	5,305609182	-8,88178E-16	-0,845154255				
	6	5,319483852	-8,88178E-16	-0,845154255				
	7	5,331214719	-8,88178E-16	-0,845154255				
	8	5,341376458	-8,88178E-16	-0,845154255				
	9	5,350339747	-1,77636E-15	-1,690308509				
	10	5,358357682	-8,88178E-16	-0,845154255				
	11	5,365610787	-8,88178E-16	-0,845154255				

Рис. 4. Результат выполнения анализа данных для степенной функции

Вывод итогов						
Регрессионная статистика						
Множественный R	0,795382868					
R-квадрат	0,632633907					
Нормированный R-квадрат	0,591815452					
Стандартная ошибка	8,997348094					
Наблюдения	11					
Дисперсионный анализ						
	df	SS	MS	F	Значимость F	
Регрессия	1	1254,656818	1254,656818	15,49872259	0,003422321	
Остаток	9	728,5704545	80,95227273			
Итого	10	1983,227273				
Коэффициенты						
	Константа	Стандартная ошибка	T-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%
У-пересечение	181,3909091	5,818313209	31,1785846	1,7625E-10	168,2289702	194,552848
Переменная X 1	3,377272727	6,857863481	3,936841703	0,003422321	1,436650709	5,117894746
Нижние 95,0%						
Верхние 95,0%						
Вывод остатка						
	Наблюдение	Предсказанное Y	Остатки			
	1	184,7681818	-0,168181818			
	2	188,1454545	-15,34545455			
	3	191,5227273	9,477272727			
	4	194,9	17,4			
	5	198,2772727	-5,777272727			
	6	201,6545455	-3,354545455			
	7	205,0318182	-4,831818182			
	8	208,4090909	5,590909091			
	9	211,7863636	-1,886363636			
	10	215,1636364	-1,863636364			
	11	218,5409091	0,559090909			

Рис. 5. Результат выполнения анализа данных для линейной функции

Для выбора функциональной зависимости (ФЗ) найден критерий Фишера для всех трех выбранных ФЗ:

$F = (r^2/1)/((1-r^2)/(11-1-1))$	
показ F	14,86
степ F	14,9425
лин F	15,4965
$F(0,05;1;9)$	5,12

Все вычисленные значения критерия больше табличного, однако критерий для линейной ФЗ выше других и превосходит табличное значение.

Таким образом, используем линейную зависимость. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что полученная модель будет иметь вид

$$y(\hat{x}) = 181,39 + 3,38x. \quad (1)$$

Это означает, что средний балл увеличивается в среднем на 3,38 единиц измерения в год.

Из анализа статистики Стьюдента следует, что статистическая значимость коэффициентов a и b подтверждается.

Полученный результат представлен на рис. 6.

Таким образом, в ходе работы была выбрана линейная функциональная зависимость для построения прогнозных значений среднего

балла абитуриентов. Были найдены значения на 2021 год (221,9), 2022 год (225,3), 2023 год (228,7).

	Наблюдение	Предсказанное $\hat{Y}$	Остатки
24	1	184,7681818	-0,168181818
26	2	188,1454545	-15,14545455
27	3	191,5227273	9,477272727
28	4	194,9	17,4
29	5	198,2772727	-5,777272727
30	6	201,6545455	-3,354545455
31	7	205,0318182	-4,831818182
32	8	208,4090909	5,590909091
33	9	211,7863636	-1,886363636
34	10	215,1636364	-1,863636364
35	11	218,5409091	0,559090909
36		балл	год
37	12	221,9181818	2021
38	13	225,2954545	2022
39	14	228,6727273	2023

Рис. 6. Результат прогнозирования

Следующим этапом исследования планируется построение модели с использованием дополнительных факторов, влияющих на изменение среднего балла по результатам ЕГЭ, таких как количество поступающих, сложность экзамена и т.д.

Библиографический список

1. Прозорова Л.Ю. Введение в эконометрику: учеб. пособие. – Пермь: 2016. – 145 с.
2. Шанченко Н.И. Эконометрика: учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 117 с.

Сведения об авторах

Кроха Елизавета Богдановна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ4-20-1м, г. Пермь, e-mail: lemmakout@gmail.com

Прозорова Любовь Юрьевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ljup@mail.ru

Ф.Г. Абасзаде

ВОПРОСЫ УЧЕТА ЭФФЕКТОВ РАССЕЯНИЯ ПРИ СОЛНЕЧНО-ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

Статья посвящена вопросам учета эффектов рассеяния при дневных солнечно-фотометрических измерениях оптической плотности атмосферного аэрозоля. На основе результатов известных экспериментальных исследований погрешности измерений AOD, возникающей из-за влияния рассеяния аэрозольными частицами солнечного излучения в направлении вперед, сформулирована задача оптимизации серий таких измерений. В результате решения этой задачи получена функциональная зависимость отношения R_s/R_D от косинуса зенитного угла при которой среднее значение погрешности измерения AOD достигает минимальной величины. Дано математическое решение указанной задачи.

Ключевые слова: аэрозоль, оптическая плотность, погрешность, рассеяние, солнечная радиация.

F.G. Abaszade

QUESTIONS OF ACCOUNTING FOR SCATTERING EFFECTS IN SOLAR-PHOTOMETRIC MEASUREMENTS OF THE OPTICAL DENSITY OF ATMOSPHERIC AEROSOL

The article deals with the accounting of scattering effects in daytime solar photometric measurements of the optical density of atmospheric aerosol. Based on the results of well-known experimental studies of the error of AOD measurements resulting from the influence of dispersion by aerosol particles of solar radiation in the forward direction, the problem of optimization of the series of such measurements is formulated. In the resolution of the solution of this problem a functional dependence on a cosine of the anti-aircraft angle is obtained at which the mean value of the error of the AOD measurement reaches the minimum value. A mathematical solution of the given problem is given.

Keywords: aerosol, optical density, error, dispersion, solar radiation.

Влияние атмосферного аэрозоля на климат Земли бесспорно и является предметом тщательного изучения [1–3]. Аэрозольные измерения проводятся с помощью всемирной сети AERONET, сети SKYNET, а также некоторых локальных сетей. Параллельно наземным измерениям проводятся спутниковые измерения [4, 5]. Измери-

тельная сеть AERONET содержит приблизительно 500 станций, основу которых составляют солнечные фотометры «Cimel» CE 318. Получаемые с помощью этих измерителей результаты позволяют изучать влияние аэрозоля на величину оптической радиации, поступающей на поверхность Земли, создавать физико-химические модели атмосферы, осуществлять валидацию спутниковых данных и проводить атмосферную коррекцию этих данных. Измеритель типа CE 318 имеет угол поля обзора всего $1,2^\circ$. Такой узкий угол обзора является результатом компромисса при выборе с учетом двух факторов: (а) из-за кругового типа солнечного излучения (излучает солнечный диск, а не точка) при широком угле фотометра приходится осуществлять специальную коррекцию [2]; (б) для устойчивого слежения за движением Солнца угол обзора должен быть достаточно большим. Вместе с тем большой угол обзора фотометра при больших зенитных углах Солнца приводит к появлению погрешности измерения типа «рассеяние вперед» солнечного излучения, о чем подробно будет изложено чуть ниже. Здесь следует отметить только такой факт, что Всемирная метеорологическая организация (WMO) в своем документе [6] рекомендует выбрать такую величину угла обзора фотометра, при котором погрешность указанного типа сводится к минимуму.

Как отмечается в [7], общая погрешность (неопределенность) прибора «Cimel» на длинах волн более, чем 440 нм составляет $\pm 0,02$ (длины волн: 440, 670, 870, 1020 нм).

При проведении измерений прямой солнечной радиации на вход фотометра также поступает оптический сигнал типа «рассеяние вперед». Если атмосфера достаточно сильно загрязнена аэрозолем и зенитный угол Солнца достаточно велик, то погрешность измерения оптической плотности аэрозоля (AOD) может достичь значительной величины [8]. Ниже анализируются известные оценки погрешности, возникающие из-за этого эффекта.

В работе [8] изложены результаты экспериментальных измерений прямого солнечного излучения в зависимости от зенитного угла ($\theta = 40^\circ$ и 70°) и AOD. Согласно этим результатам с увеличением AOD наблюдается экспоненциальное уменьшение прямой солнечной радиации. При большом зенитном угле θ такое уменьшение еще более ускоряется. Такое ускорение также наблюдается при малых длинах волн. Влияние AOD на величину рассеянного излучения двояко: на рис. 1, 2 соответственно показаны: зависимость прямого

солнечного излучения и зависимость излучения типа «рассеяние вперед» от величины AOD при разных значениях зенитного угла Солнца θ [8].

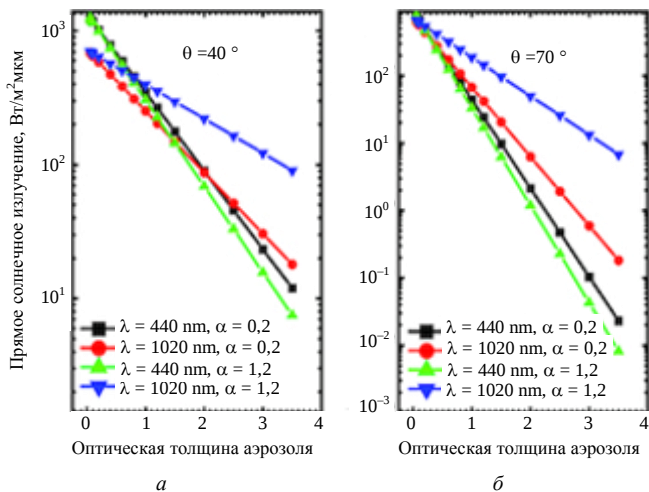


Рис. 1. Зависимость прямого солнечного излучения от AOD (a) и зенитного угла θ (b)

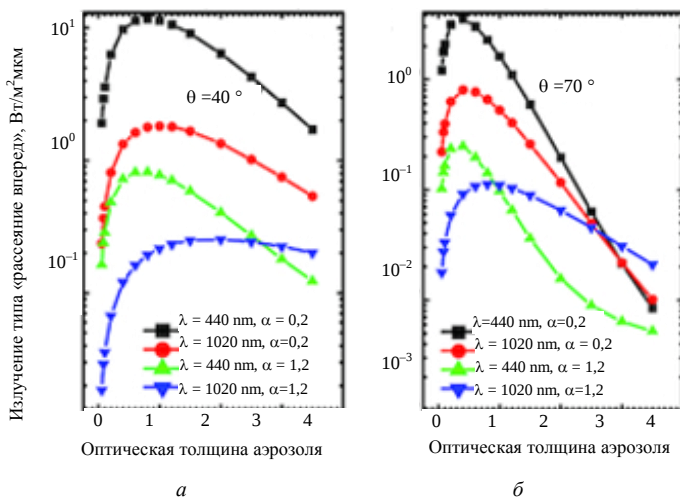


Рис. 2. Зависимость излучения типа «рассеяние вперед» от AOD (a) и зенитного угла (b)

С одной стороны, увеличение AOD приводит к увеличению радиации типа «рассеяние вперед». С другой стороны, с увеличением AOD происходит уменьшение прямой солнечной радиации, что, в свою очередь, приводит к уменьшению радиации типа «рассеяние вперед». Как результат, рассеянное вперед излучение имеет максимум от AOD, зависящий от длины волны λ и зенитного угла θ (см. рис. 2).

В работе [8] также приведены графики зависимости относительной погрешности γ , вычисляемой как

$$\gamma = \frac{R_S}{R_D}, \quad (1)$$

где R_S – излучение типа «рассеяние вперед»; R_D – прямое излучение, от значения AOD и зенитного угла (рис. 3) [8].

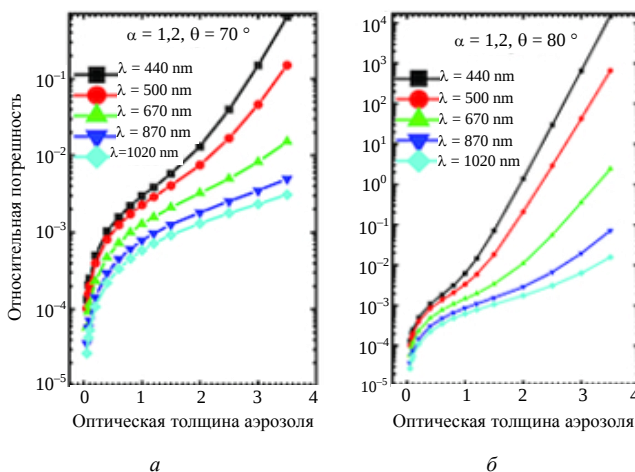


Рис. 3. Графики зависимости относительной погрешности от длины волны, AOD (а) и зенитного угла θ (б)

Как видно из графиков, представленных на рис. 3, с увеличением зенитного угла величина относительной погрешности существенно увеличивается, и при $\alpha = 1,2$; $\theta = 80^\circ$; AOD = 3 превышает значение 10^2 .

С учетом вышеизложенных результатов известных экспериментальных исследований актуальной оказывается разработка методики оптимальных измерений AOD в течение солнечных часов дня, когда зенитный угол Солнца изменяется в пределах $\theta = \theta_{\min} \div \theta_{\max}$.

Согласно [9], вышеизложенный эффект увеличения γ приводит к погрешности значения AOD, измеренного с помощью солнечного фотометра. Так, например, на длине волны 440 нм при AOD = 3,5, $\theta = 70^\circ$ погрешность измерения AOD достигает 4 % [9].

Согласно [9], погрешность измерения AOD из-за влияния эффекта «рассеяние вперед» определяется следующими тремя факторами:

1) рассеянное излучение R_s , попадающее на угол входного поля зрения солнечного фотометра;

2) прямое солнечное излучение R_D ;

3) косинус зенитного угла Солнца; $\mu = \cos\theta$.

Погрешность $\Delta\tau$ измерения AOD определяется по следующей формуле:

$$\Delta\tau = \mu_0 \cdot \ln\left(1 + \frac{R_s}{R_D}\right). \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) напомним

$$\Delta\tau = \mu_0 \cdot \ln(1 + \gamma). \quad (3)$$

Вычислим среднюю величину $\Delta\tau_{cp}$ в интервале значений $\mu_0 = 0 \div 1$. Имеет

$$\Delta\tau_{cp} = \frac{1}{\Delta\mu_0} \int_0^1 \mu_0 \cdot \ln(1 + \gamma) d\mu_0. \quad (4)$$

Так как $\Delta\mu_0 = 1$, то этот показатель далее не фигурирует в математических выкладках.

Далее введем функциональную зависимость

$$\gamma = f(\mu_0). \quad (5)$$

Заметим, что функция (5) может иметь как возрастающий, так и спадающий вид. Дело в том, что μ_0 монотонно уменьшается во времени (для удобства записи интегрирование в (4) осуществляется в обратном порядке). Если в течение этого же времени AOD растет в интервале $0 \div 1$, то γ уменьшается. Однако если в течение этого же времени AOD растет в интервале $1 \div 3$, то при больших зенитных углах из-за уменьшения R_s значение γ может расти.

Таким образом, можно предположить, что изменение во времени функции (5) имеет сложный характер. Если учесть, что в промышленно развитых городах в течение первого полудня AOD рас-

тет, а второго – уменьшается вплоть до конца рабочего дня, то функция $f(\mu_0)$ может быть представлена четырьмя геометрическим моделями (рис. 4). Как нетрудно заметить на рис. 4 все варианты геометрической модели могут быть представлены следующим ограничительным условием.

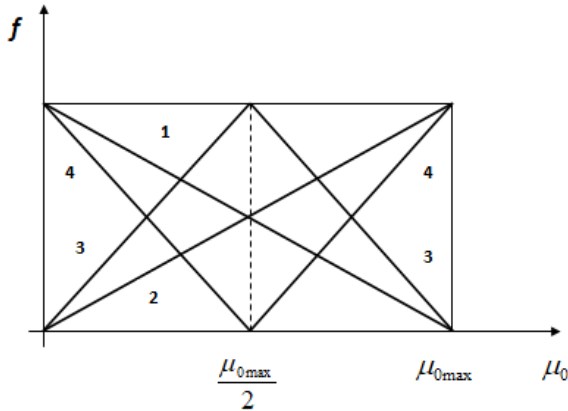


Рис. 4. Геометрическое моделирование функции $f(\mu_0)$.

На рис. 4 цифрами показаны: 1 – γ уменьшается при росте μ_0 ; 2 – γ увеличивается при росте μ_0 ; 3 – γ увеличивается в интервале $0 \div \frac{\mu_{0\max}}{2}$ и уменьшается в интервале $\frac{\mu_{0\max}}{2} \div \mu_{0\max}$; 4 – γ изменяется в инверсном порядке.

$$\int_0^{\mu_{0\max}} f(\mu_0) d\mu_0 = C; \quad C = \text{const.} \quad (6)$$

С учетом выражений (4) и (6) задача оптимизации солнечно-фотометрических измерений математически может быть сформулирована в виде вариационной задачи безусловной оптимизации, целевой функционал F которой будет иметь вид

$$F = \int_0^{\mu_{0\max}} \mu_0 \ln[1 + f(\mu_0)] d\mu_0 + \lambda \left[\int_0^{\mu_{0\max}} f(\mu_0) d\mu_0 - C \right], \quad (7)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Решение оптимизационной задачи (7) согласно (10) имеет вид

$$\frac{\mu_0}{(\ln 2)[1 + f(\mu_0)]} + \lambda = 0. \quad (8)$$

Из (8) находим:

$$f(\mu_0) = -\left(\frac{\mu_0}{\lambda \cdot \ln 2} + 1\right). \quad (9)$$

С учетом (6) и (9) имеем:

$$-\int_0^{\mu_{0\max}} \frac{\mu_0}{\lambda \ln 2} d\mu_0 - \int_0^{\mu_{0\max}} d\mu_0 = C. \quad (10)$$

Из (10) получим

$$-\frac{\mu_{0\max}^2}{2\lambda \ln 2} - \mu_{0\max} = C. \quad (11)$$

Из (11) находим

$$\lambda = -\frac{\mu_{0\max}^2}{2(\ln 2)(C + \mu_{0\max})}. \quad (12)$$

С учетом (8) и (12) получим

$$\frac{\mu_0}{(\ln 2) \cdot [1 + f(\mu_0)]} = \frac{\mu_{0\max}}{2(\ln 2)(C + \mu_{0\max})}. \quad (13)$$

Из (13) получим

$$f(\mu_0) = \frac{2\mu_0(C + \mu_0)}{\mu_{0\max}^2}. \quad (14)$$

Таким образом, при решении (14) усредненная величина погрешности измерения AOD в интервале $1 \div \mu_{0\max}$ достигает экстремума. При этом экстремум является максимумом, так как производная выражения (8) по $f(\mu_0)$ оказывается отрицательной величиной. Чтобы получить решение, приводящее к минимуму этой погрешности воспользуемся методом линеаризационной оптимизации [10], согласно которому если первый интегрант в целевом функционале (7) может быть линеаризован, то при наличии решения $f(\mu_0)$, приводящего

к максимуму целевого функционала, решение, приводящее к минимуму этого же функционала будет, иметь вид

$$f_1(\mu_0) = A - f(\mu_0), \quad (15)$$

где $A = \text{const}$.

Согласно [9], такая линеаризация возможна, и при малой величине R_D имеет место равенство $\Delta\tau = \mu_0 \cdot R_S / R_D$, Гв. Следовательно, минимум усредненной величины погрешности измерения AOD, возникающей из-за эффекта «рассеяние вперед», может быть достигнут при наличии инверсной зависимости между R_S / R_D и μ_0 .

На основе результатов известных экспериментальных исследований погрешности измерений AOD, возникающей из-за влияния рассеяния аэрозольными частицами солнечного излучения в направлении оптической оси фотометрических измерителей на результат измерений, сформулирована задача оптимизации серий таких измерений. Сформулирована вариационная задача оптимизации, суть которой заключается в нахождении такой функциональной зависимости отношения R_S / R_D от косинуса зенитного угла, при которой с учетом определенного ограничительного условия, налагаемого на возможное решение задачи, среднее значение погрешности измерения AOD достигает минимальной величины. Дано математическое решение указанной задачи.

Библиографический список

1. Braslau N., Dave J.V. Effect of aerosols on the transfer of solar emery through realistic model atmospheres. Partly absorbing aerosols // J. Appl. Meteor. – 1973. – Vol. 12. – P. 616–619.
2. Grassl H. Calculated circumsolar radiations as a function of aerosol type, field of view, wavelength, and optical depth // Appl. Opt. – 1971. – Vol. 10. – P. 2542–2543.
3. Characteristic of aerosol properties of haze and yellow sand examined from SKYNET measurements over East China Sea / S. Kitakoga, Y. Inoue, M. Kuji, T. Hayasaka // J. Meteor. Soc. Japan. – 2014. – Vol. 92A. – P. 57–69.
4. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer / Y.J. Kaufman,

D. Tanre, L.A. Remer, E.F. Vermote, A. Chu, B.N. Holben // J. Geophys. Res. – 1997. – Vol. 102(D4), No. 12. – P. 17.051–17.067. DOI: 1029/96JD03988

5. Uncertainties in satellite remote sensing of aerosols and impact on monitoring its long – term trend: a review and perspective / Z. Li, X. Zhao, R. Kahn, M. Mishchenko, L. Remer, K-H. Lee, M. Wang, I. Laszlo, T. Nakajima, H. Maring // Ann. Geophys. – 2009. – Vol. 27. – P. 2755–2770. DOI: 10.5194/angeo-27-2755-2009

6. Guide to meteorological instruments and methods of observation // World meteorological Organization (WMO). – 2012. – No. 8. – P. 211.

7. Holben B.N. A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. – 1998. – Vol. 66. – P. 1–16. DOI: 10.1016/S0034-4257(98)00031-5

8. The effect and correction of aerosol forward scattering on retrieval of aerosol optical depth from Sun Photometer measurements / F. Zhao, Y. Tan, Z. Li, C. Gai // Geophysical Research Letters. – 2012. – Vol. 39. – L14805. DOI: 10.1029/2012GL052135

9. Assessment of error in aerosol optical depth measured by AERONET due to aerosol forward scattering / A. Sinyuk, B.N. Holben, A. Smirnov, T.F. Eck, I. Slutsker, J.S. Schafer, D.M. Giles, M. Sorokin // Geophysical Research Letters. – 2012. – Vol. 39. – L23806. DOI: 10.1029/2012GL053894

10. Асадов Х.Г., Абдуллаев С.Н., Тарвердиева У.Х. Вопросы оптимизации изоморфно голономных информационно-измерительных систем // Известия вузов. Электромеханика. – 2020. – Т. 6. – С. 51–56.

Сведения об авторе

Абасзаде Фуад Габиль оглы – аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: fabaszadeh@swt.az

Х.Г. Асадов, В.Х. Махмудова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА УМЕНЬШЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОЛЯХ ИЗ-ЗА СТОКА ПОВЕРХНОСТИ ВОД

Рассмотрены вопросы оценки истощения содержания питательных веществ на сельскохозяйственных полях из-за стока поверхности вод. Составлены и решены две оптимизационные задачи минимизации выноса питательных веществ с суббассейна водоемов поверхностными водами стока. Решение одной из оптимизационных задач позволяет определить оптимальную прямую функциональную зависимость площадей субъединицы участков от концентрации азота и фосфора в верхнем 10-миллиметровом слое почвы, при котором обеспечивается вынос минимального количества питательных веществ. Решение второй оптимизационной задачи позволяет определить оптимальную обратную зависимость площадей субъединиц участков от концентрации осадков в поверхностном стоке. Указанная зависимость также обеспечивает вынос минимального количества питательных веществ в водоёмы.

Ключевые слова: питательные вещества, оптимизация, поверхностный сток, концентрация, модель.

H.G. Asadov, V.H. Mahmudova

RESEARCH INTO THE EFFECTS OF REDUCED NUTRIENTS IN THE FIELDS DUE TO RUN-OFF OF SURFACE WATERS

The article addresses the assessment of nutrient depletion in agricultural fields due to run-off of water surface. Two optimization goals for the minimization of nutrient removal from the sub-basin of water bodies by surface water run-off have been identified and solved. The solution of one of the optimization problems makes it possible to determine the optimal direct functional relationship between the nitrogen and phosphorus concentrations of the subunit areas of the plots (N, P) in the top 10 mm layer of soil at which a minimum quantity of nutrients is removed. The solution of the second optimization problem makes it possible to determine the optimal inverse relationship between the area of the sub-units of the sites and the concentration of precipitation in run-off. This dependence also ensures the transfer of a minimum amount of nutrients into the water bodies.

Keywords: nutrients, optimization, run-off, concentration, model.

Хорошо известно, что деградация земель, характеризующаяся снижением их качества и уменьшением объема производимой сельхозпродукции, является основным препятствием в развитии сельского

хозяйства. Почва является невозобновляемым ресурсом в сельскохозяйственной деятельности в пределах некоторых временных и пространственных границ. Деградация почвы выражается в таких процессах, как эрозия, потеря органического углерода, окисление, засоление, потеря питательных элементов (N, P) [1]. Нехватка питательных макроэлементов (N, P, K, Ca), а также микроэлементов (Zn, Cu, Me, B) приводит к снижению производительности деградированной почвы [2]. Вопросы потери питательных элементов почвы из-за поверхностного стока воды на полях были рассмотрены в работах [3–7]. Как отмечается в [7], из-за поверхностного стока теряется 3–9 % азотных удобрений, при этом в верхнем 5-сантиметровом слое почвы концентрация N уменьшается с 9,49 до 2,52 мг/кг.

Вопросы уменьшения концентрации основных питательных веществ (N, P) из-за поверхностного стока подробно рассмотрены в модели SWAT [8–10]. Согласно [8], в почве происходят такие гидрологические процессы, как фильтрация, эвапотранспирация, просачивание, поверхностный сток, поток грунтовых вод. При этом для правильного моделирования гидрологических процессов в модели SWAT используются такое понятие, как единица гидрологического реагирования (HRV). При этом HRV является гидрологически гомогенным элементом суббассейна и является двухкомпонентным объектом моделирования в области почвенной и канальной гидрологии [9]. Согласно [10], в модели SWAT движение органического азота поверхностным стоком описывается следующим уравнением:

$$M_{N.org} = 0,001 \cdot C_{N.org} \cdot \frac{S}{A_{HRV}} \cdot \varepsilon_{N,S}, \quad (1)$$

где $M_{N.org}$ – количество переносимого органического азота; $C_{N.org}$ – концентрация органического азота в верхнем 10-миллиметровом слое почвы, г/м.тонна; S – количество осадков, м.тонны; A_{HRV} – площадь HRV в га; $\varepsilon_{N,S}$ – показатель обогащения азота. $\varepsilon_{N,S}$ равно отношению концентрации органического азота, переносимого осадками, к концентрации на поверхности почвы. Согласно [10]

$$\varepsilon_{N,S} = 0,78 \cdot (C_{s,surf})^{-0,2468}, \quad (2)$$

где $C_{s,surf}$ – концентрация осадков в поверхностном стоке (мг/м³).

Подобно вышеуказанному, применительно к органическому и минеральному фосфору количество переносимого Р в потоке осадков определяется по формуле [10]:

$$M_P = 0,001 \cdot C_{S,P} \cdot \frac{S}{A_{HRV}} \cdot \varepsilon_{P,S}, \quad (3)$$

где $C_{S,P}$ – концентрация фосфора, присоединенного к осадку в вернем 10-миллиметровом слое почвы, г/м.тонна; S – количество осадков (м.тонны); A_{HRV} – площадь HRV, га; $\varepsilon_{N,S}$ – отношение обогащения фосфором, где

$$\varepsilon_{P,S} = 0,78 \cdot (C_{s,surf})^{-0,2468}, \quad (4)$$

где $C_{s,surf}$ – концентрация осадков в поверхностном стоке, мг/м³.

Целью настоящего исследования является определение условий, при которых общее количество N и P, переносимое поверхностным стоком, достигает минимальной величины. Для этого воспользуемся методом оптимизации изоморфно-голономных систем [10], базирующегося на условиях уравнивания Эйлера – Лагранжа.

Исходным предположением предлагаемого метода является то, что рассматриваемый суббассейн может быть разделен на n – число единиц HRV, площади которых A_{HRV} неидентичны и определяются по условию

$$A_{HRV_i} = A_{HRV_{i-1}} + \Delta A_{HRV}; i = \overline{1, A}; A_{HRV_0} = 0; \quad (5)$$

$$A_{HRV} = \text{const.}$$

Далее с учетом выражений (1), (2) получим:

$$M_{N.org} = 0,78 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{C_{N.org} \cdot S \cdot (C_{s,surf})^{-0,2468}}{A_{HRV}}, \quad (6)$$

Также с учетом выражений (3), (4) получим

$$M_P = 0,78 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{C_{S,P} \cdot S \cdot (C_{s,surf})^{-0,2468}}{A_{HRV}}. \quad (7)$$

Как видно из выражений (6) и (7), идентичны. Следовательно, для дальнейшей оптимизации можно рассмотреть следующую обобщенную модель:

$$M_o = \frac{a_1 \cdot C_{S,N} (C_{s,surf})^{-0,2468}}{A_{HRV}}. \quad (8)$$

где $C_{S,N}$ – концентрация питательного вещества (N или P).

Рассмотрим возможность введения для дальнейшего анализа двух неявных по виду функций:

$$A_{\text{HRV}} = f_1(C_{S,N}), \quad (9)$$

$$A_{\text{HRV}} = f_2(C_{S,\text{surf}}). \quad (10)$$

Рассмотрим общее ограничительное условие, используемое в дальнейшем в целях проводимой оптимизации. Предварительно отметим, что далее применительно к $C_{S,N}$ и $C_{S,\text{surf}}$ допускается существование двух упорядоченных множеств

$$C_{S,N} = \{C_{S,N,i}\}, \quad (11)$$

где

$$C_{S,N,i} = C_{S,N,i-1} + C_{S,N}; \quad i = \overline{1, n}; \quad \Delta C_{S,N} = \text{const}; \quad C_{S,N,0} = 0, \quad (12)$$

$$C_{S,\text{surf}} = \{C_{S,\text{surf},i}\}, \quad (13)$$

где $C_{S,\text{surf},i} = C_{S,\text{surf},i-1} + C_{S,\text{surf}}, \quad i = \overline{1, n},$

$$\Delta C_{S,\text{surf}} = \text{const}, \quad C_{S,\text{surf},0} = 0. \quad (14)$$

Общее ограничительное условие формируется следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n f_1(C_{S,N,i}) = A_0, \quad (15)$$

где $A_0 = \text{const}$

$$\sum_{i=1}^n f_2(C_{S,\text{surf}}) = A_0. \quad (16)$$

Физический смысл ограничений (15) и (16) заключается в том, что суммарная площадь всех подучастков HRV равна площади рассматриваемого суббассейна A_0 :

Условно переходя на непрерывную форму записи, выражения (15) и (16) запишем в следующем виде:

$$\int_0^{C_{S,N,\text{max}}} f_1(C_{S,N}) dC_{S,N} = A_0, \quad (17)$$

$$\int_0^{C_{S,\text{surf},\text{max}}} f_2(C_{S,\text{surf}}) dC_{S,\text{surf}} = A_0. \quad (18)$$

Функционалы оптимизации в дискретном виде сформируем на базе выражения (8). Имеем

$$M_{01.g.} = a_1 \cdot (C_{S,\text{surf}})^{-0,2468} \sum_{i=1}^n \frac{C_{S,N,i}}{f_1(C_{S,N,i})}, \quad (19)$$

$$M_{02.g.} = a_1 \cdot C_{S,N} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(C_{S,\text{surf},i})^{-0,2468}}{f_2(C_{S,\text{surf},i})}. \quad (20)$$

Функционалы (19) и (20) в непрерывной форме запишем в следующем образом

$$M_{01 H.} = a_1 \cdot (C_{s,surf})^{-0,2468} \int_0^{C_{S,N,max}} \frac{C_{S,N}}{f_1(C_{S,N})} dC_{S,N}. \quad (21)$$

$$M_{02 H.} = a_1 \cdot C_{S,N} \cdot \int_0^{C_{S,surf,max}} \frac{(C_{S,surf})^{-0,2468}}{f_2(C_{S,surf})} dC_{S,surf}. \quad (22)$$

С учетом выражений (17) и (21) первый общий функционал вариационной оптимизации имеет вид:

$$\Phi_1 = a_2 \cdot \int_0^{C_{S,N,max}} \frac{C_{S,N}}{f_1(C_{S,N})} dC_{S,N} + \lambda_1 \left[\int_0^{C_{S,N,max}} f_1(C_{S,N}) dC_{S,N} - A_0 \right], \quad (23)$$

где λ_1 – множитель Лагранжа;

$$a_2 = a_1 \cdot (C_{s,surf})^{-0,2468}. \quad (24)$$

С учетом выражений (18) и (22) второй общий функционал вариационной оптимизации имеет вид:

$$\Phi_2 = a_3 \cdot \int_0^{C_{S,surf,max}} \frac{(C_{s,surf})^{-0,2468}}{f_2(C_{S,surf})} dC_{S,surf} + \lambda_2 \left[\int_0^{C_{S,surf,max}} f_2(C_{S,surf}) dC_{S,surf} - A_0 \right], \quad (24)$$

где λ_2 – множитель Лагранжа;

$$a_3 = a_1 \cdot C_{S,N}. \quad (25)$$

Дадим модельное решение оптимизационных задач (23) и (24).

Согласно [10], оптимальная функция $f_{1 opt}(C_{S,N})$, являющаяся решением задачи (23), должна удовлетворять условию:

$$\frac{\partial \left\{ \frac{a_2 C_{S,N}}{f_1(C_{S,N})} + \lambda_1 f_1(C_{S,N}) \right\}}{\partial f_1(C_{S,N})} = 0. \quad (26)$$

Оптимальная функция $f_{2 opt}(C_{S,N})$, являющаяся решением задачи (24), должна удовлетворять условию:

$$\frac{\partial \left\{ \frac{a_3 \cdot (C_{S,surf})^{-0,2468}}{f_2(C_{S,surf})} + \lambda_2 \cdot f_2(C_{S,surf}) \right\}}{\partial f_2(C_{S,surf})} = 0. \quad (27)$$

Из (26) получим

$$-\frac{a_2 C_{S,N}}{f_1^2(C_{S,N})} + \lambda_1 = 0. \quad (28)$$

Из (27) получим

$$-\frac{a_3 \cdot (C_{S.surf})^{-0,2468}}{f_2^2(C_{S.surf})} + \lambda_2 = 0. \quad (29)$$

Из (28) находим

$$f_1(C_{S.N}) = \sqrt{\frac{a_2 C_{S.N}}{\lambda_1}}. \quad (30)$$

Из (29) находим

$$f_2(C_{S.surf}) = \sqrt{\frac{a_3 C_{S.surf}^{-0,2468}}{\lambda_2}}. \quad (31)$$

С учетом (17) и (30) получим

$$\int_0^{C_{S.N.max}} \sqrt{\frac{a_2 C_{S.N}}{\lambda_1}} d C_{S.N} = A_0. \quad (32)$$

С учетом (18) и (31) получим

$$\int_0^{C_{S.surf.max}} \sqrt{\frac{a_3 C_{S.surf}^{-0,2468}}{\lambda_2}} d C_{S.surf} = A_0. \quad (33)$$

Из (32) находим

$$\lambda_1 = \left[\frac{\int_0^{C_{S.N.max}} \sqrt{a_2 C_{S.N}} d C_{S.N}}{A_0} \right]^2. \quad (34)$$

Из (33) находим

$$\lambda_2 = \left[\frac{\int_0^{C_{S.surf.max}} \sqrt{a_3 C_{S.surf}^{-0,2468}} d C_{S.surf}}{A_0} \right]^2. \quad (35)$$

Таким образом, выражения (30), (34) являются решением оптимизационной задачи (23). Согласно этому решению, оптимальная функция $f_{1opt}(C_{S.N})$ прямо пропорциональна квадратному корню $C_{S.N}$. При этом решение Φ_1 достигает минимума, т.е. из суббассейна выносятся минимальное количество питательных веществ.

В отличие от решения первой задачи, согласно решению (31), (35) второй задачи, $f_2(C_{S.surf})$ обратно пропорционально $C_{S.surf}$, однако и при этом достигается минимальный вынос питательных веществ из рассматриваемого суббассейна.

Таким образом, сформированы и решены две оптимизационные задачи минимизации выноса питательных веществ с суббассейна

водоемов посредством поверхностного стока. Показано, что полученное решение верно как для фосфора так и азота. Решение первой оптимизационной задачи позволяет определить оптимальную функциональную зависимость площадей субъединицы участков от концентрации питательных веществ (N, P) в верхнем 10-миллиметровом слое почвы, при котором обеспечивается вынос минимального количества питательных веществ. Указанная зависимость является прямо пропорциональной по характеру.

Решение второй оптимизационной задачи позволяет определить оптимальную зависимость площадей субъединиц участков от концентрации осадков в поверхностном стоке. Указанная зависимость является обратно пропорциональной, которая также обеспечивает вынос минимального количества питательных веществ в водоёмы.

Библиографический список

1. Rattan Lai. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation / Sustainability. – 2015. – No. 7. – P. 5875–5895. DOI: 10.3390/su7055875
2. Rattan Lai. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition // foodSec. – 2009. – No. 1. – P. 45–57. DOI: 10.1007/s12571-009-0009-z
3. Burnwell R.E., Timmons D.R., Holt R.F. Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. – 1975. – No. 39. – P. 523–528.
4. Douglas Jr., King C.L., Zuzel J.F. Nitrogen and phosphorus in surface and sediment from a wheat-pea rotation in in northeastern Oregon // J. Environ. Qual. – 1998. – No. 27. – P. 1170–1177.
5. Schilling K.E., Spooner J. Effects of watershed-scale land use change on stream nitrate concentrations // J. Environ. Qual. – 2006. – No. 35. – P. 2132–2145.
6. Victor Hugo Duran Zuazo, Carmen Rocio Rodriguez Pleguezuelo / Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review // Agron. Sustain. Dev. – 2008. – No. 28. – P. 65–86. DOI: 1051/agro:2007062
7. Assessment of Environmental Sustainability in Alberta's Agricultural Watersheds Project / J.P. Casson, B.M. Olson, J.L. Little, S.C. Nolan; Volume 4. Nitrogen Loss in Surface Runoff. – 2008.

8. Application of the SWAT model to assess the impact of changes in agricultural management practices on water quality / A.M. Epelde, I. Cerro, J.M. Sanchez-Perez, S. Sauvage, R. Srinivasan, I. Antigüedad // Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques. Special issue: Evaluation of Water Resources with SWAT. – 2015. – 60(5). – P. 825–843. DOI: 10.1080/02626667.2014.967692

9. Phosphorus Modeling in Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model / Chaubey Indrajeet, K.W. Migliaccio, C.H. Green, J.C. Arnold, R. Srinivasan. – 2006. – P. 263–187.

10. Torrion J. Modelling water quality using soil and water assessment tool (SWAT). ITC. MSc thesis. Enschede, The Netherlands. Land degradation detection, mapping and monitoring in the lake Naivasha basin, Kenya. – 2002.

Сведения об авторах

Асадов Хикмет Гамид оглы – доктор технических наук, профессор Национального аэрокосмического агентства, Научно-исследовательского института аэрокосмической информатики, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: asadzade@rambler.ru

Махмудова Валида Ханкиши гызы – кандидат технических наук, ученый секретарь Национального аэрокосмического агентства, Научно-исследовательского института аэрокосмической информатики, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: mammedova.valida@mail.ru

Н.Г. Джавадов, Ф.Т. Казимова

ИЗУЧЕНИЕ СПЕЦИФИКИ ИНДЕКСОВ СУХОСТИ И ЗАСУХИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОЧВЫ

Статья посвящена изучению специфических свойств индексов сухости и засухи почв. Показаны экстремальные свойства индексов сухости и засухи PDI и MPDI. Научная ценность полученного результата в отношении индекса PDI заключается в том, что установлен факт существования некоторого порогового уровня наклона почвенной линии, при превышении которого индекс PDI начинает уменьшаться, т.е. наблюдается инверсный режим работы этого индекса. В свою очередь, научная ценность полученного результата в отношении индекса MPDI заключается в том, что для группы земельных участков, показатель наклона почвенной линии которых образует упорядоченное множество, обнаружено существование такой оптимальной взаимосвязи между фракционным коэффициентом и наклоном почвенной линии, которая в случае выполнения некоторого ограничительного условия обеспечивает максимум интегральной величины индекса MPDI.

Ключевые слова: индекс сухости, индекс засухи, почвенная линия, оптимизация, влагонасыщенность почвы.

N.G. Javadov, F.T. Kazimova

STUDY OF ARIDITY AND DROUGHT INDICES FOR REMOTE SENSING OF SOIL

The article is devoted to the study of specific properties of soil dry and drought indexes. Extreme properties of PDI and MPDI dry and drought indexes are shown. The scientific value of the result in relation to the PDI index is that there is a certain threshold level of tilting of the soil line above which the PDI index starts to decrease, i.e., the inverse mode of operation of the index is observed. In turn, the scientific value of the result in relation to the MPDI index is that for a group of plots where the slope of the soil line forms an ordered set, The existence of such an optimal relationship between the fractional coefficient and the slope of the soil line which, if some restrictive condition is met, provides the maximum integral value of the MPDI index.

Keywords: dryness index, drought index, soil line, optimization, soil moisture content.

Явление засухи обычно рассматривается в качестве часто возникающего природного бедствия.

Нехватка влаги в почве воздействует на процессы испарения с поверхности земли и потребления воды растениями, что в конечном

счете приводит к уменьшению эффективности сельскохозяйственной деятельности.

Дистанционное исследование влагонасыщенности почвы обычно осуществляется такими методами, как микроволновая спектрометрия, зондирование в диапазоне NIR – RED, использование вегетационных индексов и т.д. [1]. Проблемы влагонасыщенности почвы тесно связаны с задачами исследования сухости почвы и явлений засухи [2].

Согласно [3], наиболее широко распространенным вегетационным индексом, применяемым для оценки степени сухости почвы является нормализованный разностный водный индекс (NDWI). В этих целях также были предложены такие индексы, как нормализованный разностный индекс засухи (NDDI) [5], нормализованный мультиспектральный индекс засухи (NMDI) [5], а также перпендикулярный вегетационный индекс (PVI) [6]. На базе индекса перпендикулярного индекса засухи PDI был разработан модифицированный перпендикулярный индекс засухи (MPDI) [7].

Настоящая статья посвящена исследованию экстремальных свойств индексов PDI и MPDI. Приведем краткие сведения об этих индексах. Перпендикулярный индекс засухи определяется с учетом графических построений, показанных на рис. 1 [8].

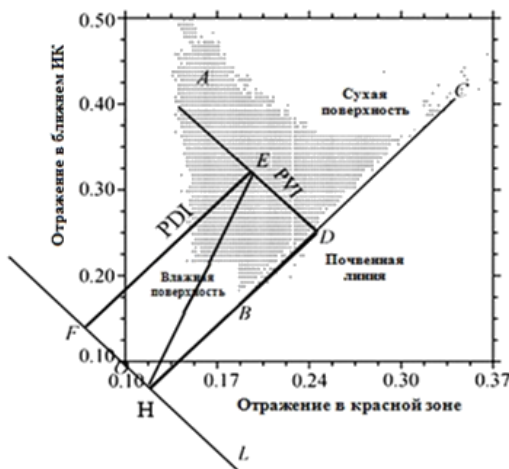


Рис. 1. Графическое построение, поясняющее формирование индекса MPDI [8]: PDI – перпендикулярный индекс сухости; PVI – перпендикулярный вегетационный индекс

Если принять, что точка E на спектральной плоскости NIR – RED имеет координаты $(R_{\text{RED}}, R_{\text{NIR}})$, то расстояние EF определяет расстояние между точкой E и линией L и представляет собой индекс PDI (перпендикулярный индекс сухости) [6], где

$$\text{PDI} = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} \cdot (R_{\text{NIR}} + MR_{\text{RED}}). \quad (1)$$

В выражении (1) R_{RED} и R_{NIR} являются атмосферно- скорректированными значениями отраженных сигналов в NIR и RED диапазонах соответственно; M – наклон почвенной линии относительно вертикальной оси.

На базе индекса PDI был разработан модифицированный перпендикулярный индекс засухи (MPDI), определяемый по следующей формуле [7]:

$$\text{MPDI} = \frac{R_{\text{RED}} + MR_{\text{NIR}} + f_v(R_{v_{\text{RED}}} + MR_{v_{\text{NIR}}})}{(1 - f_v) \cdot \sqrt{M^2 + 1}}, \quad (2)$$

где R_{RED} и R_{NIR} – атмосферно-скорректированные значения отраженного сигнала в NIR и RED диапазонах соответственно; f_v – фракционный коэффициент растительности в пределах одного пикселя; $R_{v_{\text{RED}}}$ и $R_{v_{\text{NIR}}}$ сигналы, отражения в NIR и RED областях, соответственно. Согласно [7], $R_{v_{\text{RED}}} = 0,05$; $R_{v_{\text{NIR}}} = 0,5$.

Что касается вегетационного фракционного коэффициента f_v , то согласно [7],

$$f_v = 1 - \left(\frac{\text{NDVI}_{\text{max}} - \text{NDVI}}{\text{NDVI}_{\text{max}} - \text{NDVI}_{\text{min}}} \right)^{0,6175}, \quad (3)$$

где NDVI_{min} и NDVI_{max} означают значение NDVI для незаросшей земли и максимально заросшей почвы, у которой $f_v=1$.

Также существует второй модифицированный перпендикулярный индекс засухи, определяемый как

$$\text{MPDI} = \sqrt{\text{PDI}^2 + \text{PVI}^2},$$

где PDI – индексный показатель влажности почвы; PVI – показатель вегетационного охвата.

Следует отметить наличие альтернативного варианта вычисления фракционного коэффициента растительности f_g по аналогии с законом Бугера – Бера:

$$\text{NDVI} = f_v \cdot \text{NDVI}_g - (1 - f_g) \cdot \text{NDVI}_0, \quad (4)$$

где

$$NDVI_g = NDVI_{\infty} - (NDVI_{\infty} - NDVI_0) \cdot \exp(-kL_g), \quad (5)$$

где L_g – площадь зеленых листьев на единую площадь почвы; k – коэффициент, учитывающий насыщение NDVI.

На рис. 2 приведена графическая интерпретация взаимосвязи показателей f_g , L_g , NDVI.

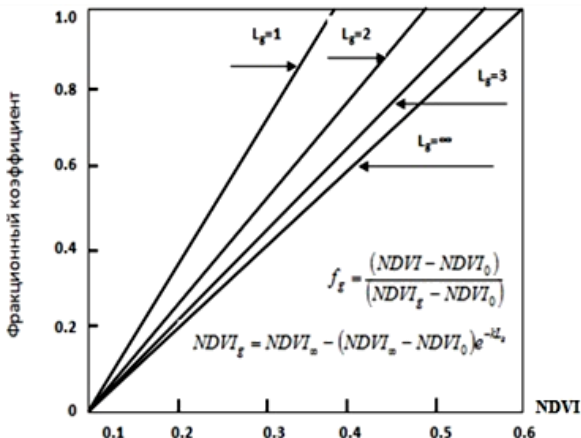


Рис. 2. Графическая интерпретация взаимосвязи показателей f_g , L_g , и NDVI при определении факторного коэффициента по формулам (4) и (5)

Далее в настоящей статье рассматривается вопрос об экстремальных свойствах индексов PDI и MPDI. Очевидно, что экстремальность показателей сухости почвы также определяет экстремальное содержание влаги в почве, что однако, как будет показано ниже, будет зависеть от типа почвы и некоторых других показателей.

Таким образом, для исследования экстремума выражения (1) в зависимости от M воспользуемся методом анализа производных. Имеем

$$\frac{d(PDI)}{dM} = \frac{-2M(R_{RED} + M \cdot R_{NIR})}{(M^2 + 1)} + \frac{R_{NIR}}{\sqrt{M^2 + 1}}. \quad (6)$$

При условии $\frac{d(PDI)}{dM}$ из (6) получим

$$4M^2(R_{RED} + MNIR)^2 = R_{NIR}^2(M^2 + 1). \quad (7)$$

Выражение (7) представляет собой трансцендентное уравнение, которое также может быть записано в виде

$$4x^2 \cdot R_{\text{NIR}}^2 + 8x\sqrt{x}R_{\text{RED}} \cdot R_{\text{NIR}} + x(4R_{\text{RED}}^2 + 8R_{\text{RED}} \cdot R_{\text{NIR}} - R_{\text{NIR}}^2) - R_{\text{NIR}}^2 = 0, \quad (8)$$

где $x = M^2$.

Можно показать, что при решении (7) показатель PDI достигает максимума.

Имеем:

$$\frac{d^2(\text{PDI})}{dM^2} = -\frac{2M(R_{\text{RED}} + M \cdot R_{\text{NIR}})}{(M^2 + 1)} + \frac{R_{\text{NIR}}}{\sqrt{M^2 + 1}}. \quad (9)$$

Элементарный анализ показывает, что выражение (9) всегда получает отрицательное значение, т.е. индекс PDI достигает при решении (7) максимального значения.

Для исследования экстремального свойства индекса MPDI воспользуемся методом безусловной вариационной оптимизации.

Прежде всего отметим, что показатель M не является постоянной величиной и зависит от типа почвы, от ее текстуры, обработанности почвы, величины осадков и т.д. Непостоянной величиной также является фракционный показатель f_g , так как степень заполненности единичной площади почвы растительностью, по сути, является случайной величиной. Введем функцию взаимосвязи переменных M и f_g в виде

$$f_g = \varphi(M). \quad (10)$$

В целях дальнейшей оптимизации будем рассматривать не весь спектр всевозможных функций $\varphi(M)$, а только те функции, которые удовлетворяют условию

$$\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \varphi(M) dM = C; C = \text{const}. \quad (11)$$

Таким образом, ограничительное условие (11) определяет тот подкласс функций, которые подлежат дальнейшему анализу для выбора оптимального вида функции (10).

С учетом выражений (2) и (10), учитывая $f_v = f_g$, составим функционал цели F :

$$F = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \frac{R_{\text{RED}} + MR_{\text{NIR}} + \varphi(M) \cdot (R_{v_{\text{RED}}} + MR_{v_{\text{NIR}}})}{(1 - f_v) \cdot \sqrt{M^2 + 1}} dM. \quad (12)$$

С учетом (11) и (12) составим полный функционал безусловной вариационной оптимизации

$$F_0 = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \frac{R_{\text{RED}} + MR_{\text{NIR}} + \varphi(M) \cdot (R_{V_1\text{RED}} + MR_{V_1\text{NIR}})}{(1 - f_v) \cdot \sqrt{M^2 + 1}} dM + \lambda \left[\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \varphi(M) dM - C \right], \quad (13)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Согласно [9], решение задачи (13) должно удовлетворить условию

$$\partial \left\{ \frac{\frac{R_{\text{RED}} + MR_{\text{NIR}} + \varphi(M) \cdot (R_{V_1\text{RED}} + MR_{V_1\text{NIR}})}{(1 - \varphi(M)) \cdot \sqrt{M^2 + 1}} + \lambda \cdot \varphi(M)}{d(\varphi(M))} \right\} = 0. \quad (14)$$

Из условия (14) получаем

$$\frac{-R_{V\text{RED}} - R_{V\text{NIR}} \cdot M + R_{\text{RED}} + M \cdot R_{\text{NIR}}}{(1 - \varphi(M)^2) \cdot (\sqrt{M^2 + 1})} + \lambda = 0. \quad (15)$$

Из (15) находим

$$\varphi(M) = 1 - \sqrt{\frac{R_{V\text{RED}} - R_{\text{RED}} + M(R_{V\text{NIR}} - R_{\text{NIR}})}{\lambda \sqrt{M^2 + 1}}}. \quad (16)$$

С учетом выражений (11) и (16) напомним

$$F_0 = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \psi(M) \right] dM = C, \quad (17)$$

где

$$\psi(M) = \sqrt{\frac{R_{V\text{RED}} - R_{\text{RED}} + M(R_{V\text{NIR}} - R_{\text{NIR}})}{\sqrt{M^2 + 1}}}. \quad (18)$$

Из (17) находим

$$\lambda = \left(\frac{\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \psi(M) dM}{\Delta M - C} \right)^2. \quad (19)$$

С учетом (16) и (19) решение задачи оптимизации имеет вид

$$\varphi(M) = 1 - \left(\frac{\Delta M - C}{\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \psi(M) dM} \right) \cdot \sqrt{\frac{R_{VRED} - R_{RED} + M(R_{VNIR} - R_{NIR})}{M^2 + 1}}. \quad (20)$$

Можно показать, что при решении (20) целевой функционал (13) достигает максимума. Для этого достаточно взять вторую производную интегранта в (13) по $\varphi(M)$ и убедиться, что она всегда отрицательная величина. Таким образом, задачу оптимизации индекса MPDI можно считать решенной.

Таким образом, впервые показаны экстремальные свойства довольно широко применяемых индексов сухости и засухи PDI и MPDI. Очевидная научная ценность полученного результата в отношении индекса PDI заключается следующем.

Следует иметь в виду, что существует некоторая пороговая величина $M_{\text{пор}}$, определяемая решением уравнения (8), при превышении которой рост M приведет к уменьшению индекса PDI, т.е. будет наблюдаться инверсный режим работы этого индекса.

В свою очередь, научная ценность полученного результата в отношении индекса MPDI заключается в том, что для группы земельных участков, показатель M которых образует упорядоченное множество, обнаружено существование такой оптимальной взаимосвязи между f_g и M , которая в случае выполнения некоторого ограничительного условия обеспечила бы максимум интегральной величины индекса MPDI.

Библиографический список

1. NIR – red spectral space based new method for soil moisture monitoring / Z. ZhiMing, Q. QiMing, G. Abduwasit, W. DongDong // Sci. China Ser. D-Earth. – February 2007. – Vol. 50, no. 2. – P. 283–289.
2. Remotely sensed estimation and mapping of soil moisture by eliminating the effect of vegetation cover / W. Cheng-yong, C. Guang-chao, C. Ke-long, E. Chong-yi, M. Ya-hui, Z. Shuang-kai, Q. Qi, S. Xiao-yi, W. Y-lan // Journal of Integrative Agriculture. – 2019. – Vol. 18(2). – P. 316–327.

3. Chen D., Brutsaert W. Satellite – sensed distribution and spatial patterns of vegetation parameters over tall grass prairie // Journal of Atmospheric Sciences. – 1998. – Vol. 55. – P. 1225–1238.
4. Gao B. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. – 1996. – Vol. 58. – P. 257–266.
5. Wang L., Qu J. NDWI: A normalized multi – band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite// Remote Sensing Geographical Research Letters. – 2007. – URL: <https://doi.org/10.1029/2007GL031021> (дата обращения: 07.05.2021).
6. Mandal U., Victor U., Srivastava N. Estimating yield of sorghum using root zone water balance model and spectral characteristics of crop in a dry – land // Alfisol Agricultural Water Management. – 2007. – Vol. 87. – P. 315–327.
7. A re-examination of perpendicular drought indices / A. Ghulam, Q. Qin, T. Kusky, Z. Li // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – Vol. 29. – P. 6037–6044.
8. A new remote sensing dryness index based on the near – infrared and red spectral space / J. Zhang, Q. Zhang, A. Bao, Y. Wang // Remote. Sens. – 2019. – Vol. 11. – P. 456.
9. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационные исчисления. – М.: Наука, 1974. – С. 472.

Сведения об авторах

Джавадов Натик Гаджи оглы – доктор технических наук, профессор, директор Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика.

Казимова Фергана Таваккул гызы – аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: fergane.kazimova@mail.ru

И.А. Седых, Е.Е. Казаков

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ФИЛЬМОВ

Исследуется применение кластерного анализа для рейтингов фильмов. Рассматривается метод «локтя» для определения оптимального количества кластеров. Также применяется метод k -средних для проведения анализа распределения выбранных групп в базе данных. Для оценки качества кластеризации используется коэффициент силуэта. Разработана программа на языке Python, реализующая данные методы.

Ключевые слова: кластерный анализ, метод «локтя», метод k -средних, коэффициент силуэта.

I.A. Sedykh, E.E. Kazakov

APPLICATION OF CLUSTERING METHODS FOR FILM CLASSIFICATION

This article explores the application of cluster analysis to movie ratings. The “elbow” method is considered for determining the optimal number of clusters. The k -means method is also used to analyze the distribution of selected groups in the database. The silhouette coefficient is used to assess the quality of clustering. A Python program has been developed that implements these methods.

Keywords: cluster analysis, «elbow» method, k -means method, silhouette ratio.

Кластерный анализ – задача группировки набора объектов таким образом, чтобы объекты одной группы были больше похожи друг на друга, чем на объекты в других группах. Это основная задача исследовательского интеллектуального анализа данных и общий метод статистического анализа данных, включая распознавание образов, анализ изображений, поиск информации, сжатие данных, компьютерную графику и машинное обучение. Для того чтобы решить кластерную задачу, необходимо использовать конкретные алгоритмы, которые различаются по эффективности и поиску кластеров. Сами кластеры представляют собой группировку данных, интервалов или же статистические распределения, расположенные в пространстве на некотором расстоянии от других кластеров [1].

Основная идея методов разделения кластеров, таких как кластеризация k -средних, состоит в том, чтобы определить кластеры таким образом, чтобы общая вариация внутри кластера или внутрикластерная вариация была минимальной:

$$\sum_{i=1}^k W(C_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C_i – кластер, $W(C_i)$ – внутрикластерная вариация.

Общая вариация внутри кластера C_i – это мера $W(C_i)$ количества, на которое наблюдения внутри кластера отличаются друг от друга. Для определения внутрикластерной вариации наиболее часто используется сумма квадратов евклидова расстояния.

Для определения оптимального количества кластеров можно использовать следующий алгоритм, называемый методом «локтя»:

1. Применить алгоритм кластеризации (например, кластеризацию k -средних) для различных значений k , например изменяя k от 1 до 10 кластеров.
2. Для каждого k вычислить общую сумму квадратов внутри кластера.
3. Построить кривую суммы квадратов внутри кластера в зависимости от количества кластеров k .

Расположение изгиба на графике обычно рассматривается как индикатор соответствующего количества кластеров.

Кластеризация k -средних является наиболее широко используемым алгоритмом. Он начинается с выбора k репрезентативных точек в качестве начальных центров масс. Далее каждой точке назначается ближайший центр масс на основе выбранной меры расстояний. После того как эти кластеры будут сформированы, центры масс для каждого кластера будут обновлены. Алгоритм затем итеративно повторяет эти два шага, пока центры масс изменяются. Кластеризация k -средних – это жадный алгоритм, который гарантированно сходится к локальному минимуму, но минимизация его функции оценки, как известно, тяжела. На практике следует правило, что итеративная процедура должна продолжаться до тех пор, пока более 1 % точек изменяют свое положение в кластере [2].

На рис. 1 представлена схема алгоритма k -средних [3, 4].

Для оценки качества кластеризации в работе применяется коэффициент силуэта. Коэффициент силуэта $S(j)$ для каждой точки j каждого кластера определяется по формуле

$$S(j) = \frac{b(j) - a(j)}{\max(a(j), b(j))}, \quad (2)$$

где $a(j)$ – среднее расстояние между точкой j и другими точками того же кластера; $b(j)$ – среднее расстояние между точкой j и всеми другими точками в ближайшем соседнем кластере.

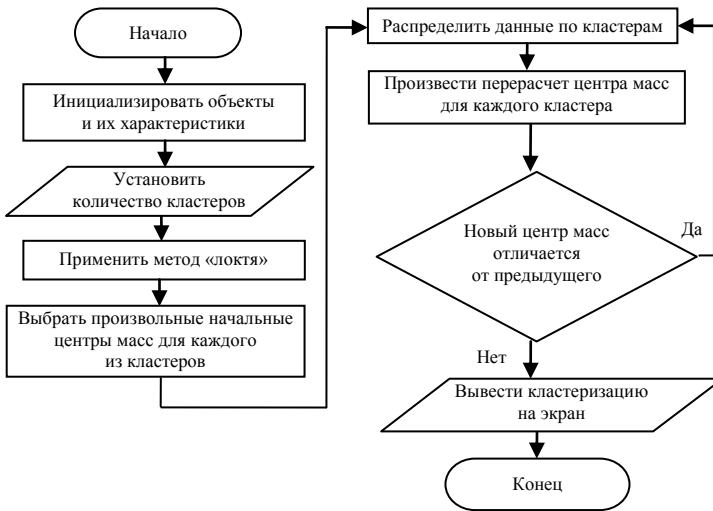


Рис. 1. Схема алгоритма k -средних

Коэффициент силуэта для выбранного кластера определяется как среднее значение коэффициента силуэта для всех точек этого кластера. Среднее значение по всем кластерам является мерой того, насколько правильно были сгруппированы данные.

Значение коэффициента силуэта варьируется от -1 при неправильной кластеризации до $+1$ при высокоплотной кластеризации. Чем выше значение коэффициента силуэта, тем выше качество кластеризации. Значение около нуля указывает на перекрывающиеся кластеры. Для исследования была взята база данных в свободном доступе от Internet Movie Database (IMDB) – крупнейшая в мире база данных о кинематографе. Выборка состоит из выборки 20 000 строк данных. В базу данных входят такие факторы, как: среднее количество голосов, оценка фильмов мужчинами и женщинами всех возрастов, оценка мужчинами и женщинами от 18 до 25 лет, общие оценки голосов, оценки фильмов по шкале от 1 до 10 и медианная оценка.

Кластеризация проведена для трех групп по два фактора в каждой группе:

- группа № 1 – среднее количество голосов и прогнозируемое количество голосов;
- группа № 2 – оценка фильмов мужчинами и женщинами всех возрастов;
- группа № 3 – общие оценки и выставленная оценка 5.

Для выполнения кластеризации и оценки ее качества разработана программа на языке Python. Были использованы библиотеки Numpy, Pandas, Matplotlib, Sklearn и Scipy.

Сначала применяется метод «локтя». Ниже в листинге 1 приведен фрагмент программы, реализующий метод «локтя».

```

Листинг 1 – Метод «локтя»
from scipy.spatial.distance import pdist
from scipy.cluster.hierarchy import *
from matplotlib import pyplot as plt
from matplotlib import rc
from sklearn.cluster import KMeans
from sklearn import mixture
data_dist = pdist(data_scaled, 'euclidean')
data_linkage = linkage(data_dist, method='ward')
plt.figure(figsize=(10,7))
plt.title('Методлоктя',fontsize=18)
last = data_linkage[-10:, 2]
last_rev = last[::-1]
idxs = np.arange(1, len(last) + 1)
plt.plot(idxs, last_rev)
acceleration = np.diff(last, 2)
acceleration_rev = acceleration[::-1]
plt.vlines(x=3,ymin=0,ymax=5, color='black',
linestyle='--')
plt.xlabel('Выборкластеров',fontsize=18)
plt.ylabel('Сумма квадратного
расстояния',fontsize=18)
plt.savefig('Метод локтя.png')
plt.show()
k = acceleration_rev.argmax()+2
print("Рекомендованное количество кластеров:", k)

```

На рис. 2 вертикальной чертой показано, что для кластеризации исходных данных выбрано 3 кластера. Также видно, что можно взять 5 или 7 кластеров, но полученные результаты кластеризации при данном количестве кластеров являются неоптимальными.

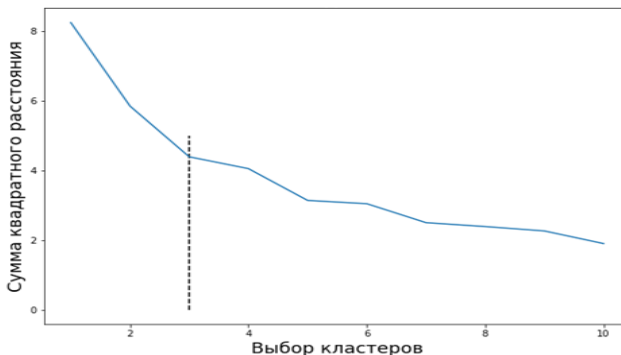


Рис. 2. Метод «локтя»

Ниже в листинге 2 приведен фрагмент программы для выполнения кластеризации для 1-й группы. Далее на рис. 3–5 показаны результаты кластеризации на основе метода k -средних для трех групп. Для того чтобы выполнить кластеризацию для 2-й и 3-й групп, необходимо поменять два параметра. В массиве `df` в функцию `DataFrame` записать `males_allages_votes` и `females_allages_votes` для 2-й группы, а `total_votes` и `votes_5` для 3-й группы.

Листинг 2 – Выполнение кластеризации для 1-й группы

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
data = pd.read_csv('f10.csv', sep=';')
data.head()
pd.options.mode.chained_assignment = None
data.fillna(0, inplace=True)
from sklearn.preprocessing import normalize
data_scaled = normalize(data)
data_scaled = pd.DataFrame(data_scaled, columns=data.columns)
```

```

data_scaled.head()
from pandas import DataFrame
from sklearn.cluster import KMeans
df=DataFrame(data_scaled,columns=['weighted_aver
erage_vote','mean_vote'])
kmeans=KMeans(n_clusters=3).fit(df)
labels = kmeans.labels_
centroids=kmeans.cluster_centers_
print(centroids)
plt.figure(figsize=(10,7))
plt.title('К-средних',fontsize=18)
plt.xlabel('Среднее количество
голосов',fontsize=18)
plt.ylabel('Прогнозируемое количество
голосов',fontsize=18)
plt.scatter(df['weighted_average_vote'],df['me
an_vote'],c=kmeans.labels_.astype(float), s=50,
alpha=1)
plt.savefig('Centers.png')
plt.show()

```

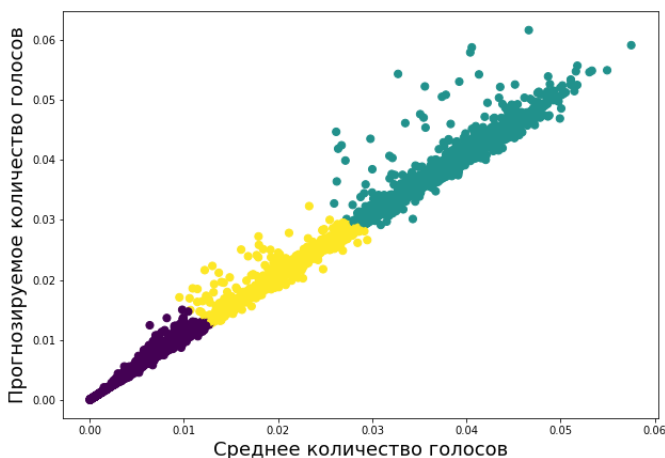


Рис. 3. Кластеризация группы № 1 по методу k -средних

Коэффициент силуэта для первой группы равен $S = 0,59$.

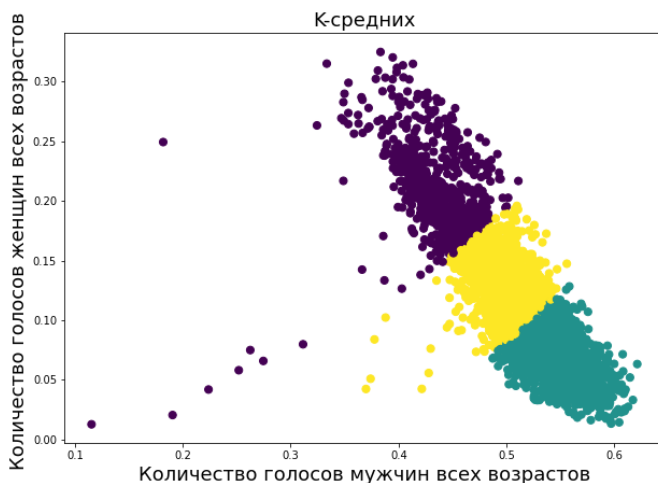


Рис. 4. Кластеризация группы № 2 по методу k -средних

Коэффициент силуэта для второй группы равен $S = 0,49$.

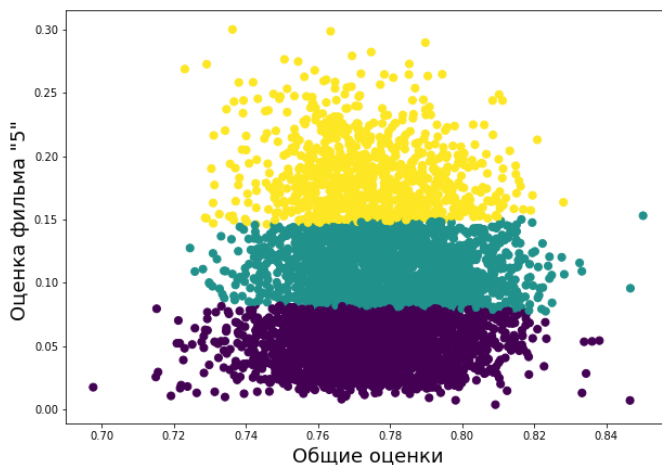


Рис. 5. Кластеризация группы № 3 по методу k -средних

Коэффициент силуэта для третьей группы равен $S = 0,44$.

Таким образом, в работе рассмотрены метод «локтя» и метод k -средних для кластеризации базы данных. Проведена кластеризация базы данных IMDB для трех групп. На основе оценки коэффициента

силуэта можно сделать вывод, что кластеризация первой группы дает оптимальный результат.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-48-480007 p_a).

Библиографический список

1. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ: монография. – М.: Статистика, 1977. – 128 с.
2. Charu C.A., Chandan K.R. Data Clustering: algorithms and applicatons. – Boca Raton, L., N.Y.: Chapman and Hall / CRC Press, 2013. – 652 p.
3. Integration k -means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster / M.A. Syakur, B.K. Khotimah, E.M.S. Rochman, B.D. Satoto. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. – 6 p.
4. Седых И.А., Истомин В.А. Нейросетевое моделирование процесса охлаждения полосы на стане горячей прокатки на основе кластеризованных данных // Интеллектуальные информационные системы: труды междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 43–45.

Сведения об авторах

Седых Ирина Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика» Липецкого государственного технического университета, г. Липецк, e-mail: sedykh-irina@mail.ru

Казаков Евгений Евгеньевич – студент Липецкого государственного технического университета, гр. МА-17-1, г. Липецк, e-mail: jenya15101999@gmail.com

М.М. Кулагина, А.Р. Маматова

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ АППРОКСИМАЦИИ

Проведено исследование метода аппроксимации для решения статической задачи с использованием генетических алгоритмов. Представлена работа эволюционного алгоритма за разное количество итераций (поколений).

Ключевые слова: генетический алгоритм, целевая функция, ген, особь, мутация.

M.M. Kulagina, A.R. Mamatova

GENETIC ALGORITHM RESEARCH TO SOLVE THE STATIC APPROXIMATION TASK

In this paper, we study the approximation method for solving a static problem using genetic algorithms. The work of the developed evolutionary algorithm for a different number of iterations (generations) was presented.

Keywords: genetic algorithm, target function, gene, individual, mutation.

Некоторые задачи моделирования и управления сводятся к задаче аппроксимации, суть которой заключается в построении аппроксимирующей функции $g(x)$, которая более точно повторяет непрерывную функцию $f(x)$. Обычно эта задача ставится, когда есть погрешности в исходных данных или когда нужно найти более простое математическое описание в случае неизвестной зависимости. Зачастую задачи аппроксимации рассматриваются как задачи минимизации погрешности аппроксимации [1, 2].

Сравнительно новым способом решения задач аппроксимации является применение генетических алгоритмов – методов поиска, основанных на принципах генетики и естественного отбора. Они являются эвристическими алгоритмами поиска, т.е. решение задачи основывается на интуиции и опыте. Соответственно генетические алгоритмы относят к области мягких вычислений.

Генетические алгоритмы реализуют упрощенный вариант эволюции Ч. Дарвина. Аналогия с естественным отбором позволяет им преодолевать некоторые сложности, появляющиеся на пути традиционных

оптимизационных алгоритмов (особенно в задачах с большим числом параметров и сложными математическими представлениями) [1].

Цель генетического алгоритма – поиск оптимального решения некоторой задачи. Если эволюция Дарвина развивает популяцию отдельных особей, то генетические алгоритмы развивают популяцию потенциальных решений конкретной задачи. Эти решения итеративно оцениваются и используются для создания нового поколения решений. Решения, которые лучше проявили себя при решении задачи, имеют больше шансов пройти отбор и передать свои качества следующему поколению. Таким образом, постепенно потенциальные решения совершенствуются в решении поставленной задачи [1, 2].

Для успешной работы алгоритма необходимо определить целевую функцию. Она наиболее часто определяется по методу наименьших квадратов как минимум функции ошибок.

Рассмотрим метод аппроксимации, построенный с помощью эволюционного алгоритма.

Генетический алгоритм аппроксимации представляется следующим образом: сначала выбирается родительская популяция (первый этап). Затем повторяются три этапа: скрещивание; отбор; формирования нового поколения.

Эти шаги повторяют до тех пор, пока не будет достигнут удовлетворительный результат или же произойдет какое-нибудь ограничение. Ограничениями могут являться определенный максимум количества поколений, время на мутацию и пр.

Итак, нами была рассмотрена система, имеющая один вход и один выход. Воспользуемся результатами эксперимента $y = f(x)$ исследуемой системы (табл. 1).

Таблица 1

Результаты эксперимента

x	0	1	3	6	8	10	12	13	15
y	0,5	0,8	1,1	1,6	2,8	3,3	4,6	7	9

Решим задачу аппроксимации. Для этого зададимся аналитической функцией, которая описывает табл. 1 в виде:

$$F(x) = \frac{k_1 \cdot x^2}{k_2 + x}.$$

Требуется определить коэффициенты k_1 и k_2 (в терминологии генетического алгоритма – *гены*). За *целевую функцию* примем сумму квадратов разностей между экспериментальной функцией и подобранной аналитической функцией в заданных точках.

Опишем принцип работы предлагаемого алгоритма. Пусть коэффициенты k_1 и k_2 принимают значения на интервале $[a, b]$. Пара коэффициентов будет рассматриваться как *особь*. Популяция состоит из N особей. Выбираем N случайных чисел на отрезке $[0, 1000]$ таким образом, чтобы разность между любыми двумя выбранными числами была бы не меньше $(b - a)/2 \cdot N$. Такое условие обеспечит более равномерное распределение чисел на заданном интервале. Используем эти числа в качестве пробных решений для k_1 . Ту же процедуру проводим для начального задания k_2 .

Для заполнения оставшихся мест в новой популяции проводим скрещивание исходной родительской популяции. Для скрещивания берем две разные случайные особи из родительской популяции, от которых и берем соответственно первый и второй ген. Кроме того, скрещивание особей также осуществляется с мутированными генами. Мутация реализуется методом внесения случайных изменений в гены. Цель оператора мутации – периодически случайно обновлять популяцию, стимулируя тем самым поиск в неисследованных областях допустимых решений.

Вышеописанная процедура скрещивания позволяет обнаружить локальный минимум с меньшей целевой функцией, чем текущий.

В результате мы получим новое поколение. Получившуюся популяцию можно опять подвергнуть скрещиванию, мутации и отбору особей в следующее новое поколение. Итак, через несколько поколений можно получить популяцию с наиболее приспособленной особью. Значение приспособленности наиболее «хорошей» особи и будет являться решением нашей задачи.

Разработанный алгоритм был реализован в Pascal. Целевая функция не должна превышать 6, это приемлемый уровень для задач аппроксимации. Продемонстрируем работу алгоритма для определения коэффициентов k_1 и k_2 за $N_c = 3$ поколения (табл. 2).

На основе табл. 2 можно сказать, что:

– для родительской популяции минимальное значение целевой функции равно 5910 при $k_1 = 242$ и $k_2 = 901$;

– для первого поколения минимальное значение целевой функции равно 21,54 при $k_1 = 24,2$ и $k_2 = 900$;

– для второго поколения минимальное значение целевой функции достигается при $k_1 = 4,2$ и $k_2 = 1103$. Целевая функция принимает значение 4,21, что является удовлетворительным. Далее полученные коэффициенты используются для решения задачи аппроксимации, которое приведено в табл. 3.

Таблица 2

Родительская популяция, первое и второе поколения

k_1	k_2	Целевая функция	k_1	k_2	Целевая функция	k_1	k_2	Целевая функция
968	789	157700	242	900	5910	24	905	21,5
613	230	711000	460	900	24890	35	900	14,8
242	901	5910	266	900	7380	4,2	1103	4,21
641	274	556000	24,2	900	21,54	13	1306	9,18
801	29	41500000	218	900	4610	22	990	29,9
521	340	274000	242	1710	1190	24	990	52,3
446	840	27200	242	990	7740	24	495	28913
414	744	29900	242	90	616000	24	810	14,4
768	571	188000	242	811	7530	24	614	12,6
386	937	548880	242	231	140000	24	905	25,6

Таблица 3

Решение задачи

$k_1 = 4,2 \quad k_2 = 1103$		
Экспериментальное значение $y(x)$	Значение аппроксимирующей функции $g(x)$	Разность $(y(x) - g(x))$
0,5	0	0,5
0,8	0,0395	0,76
1,1	0,353	0,747
1,6	0,624	0,975
1,8	1,393	0,407
2,8	2,45	0,35
3,3	3,80	0,50
4,6	5,43	0,83
7,0	6,34	0,66
9,0	8,37	0,63

Было определено, что целевая функция может иметь несколько локальных минимумов. Так как в задачах управления обычно критичным является время управления, другими словами, необходимо обеспечить сходимость алгоритма за минимальное число итераций,

то в этом случае надо найти любой локальный минимум, который не превышает заданного значения.

Если важна точность результата, иными словами, *качество результата*, то в этом случае понадобится больше времени для поиска соответствующего удовлетворительного результата.

Для изучения сходимости алгоритма сделаем эксперимент сто раз. Для более точного исследования сходимости результата эксперимент следует сделать намного больше (≈ 1000 раз). В данной работе в целях демонстрации работы алгоритма выбрано небольшое значение. Сравним результаты выполнения алгоритма при различных шагах (поколениях).

О выполнении генетического алгоритма за 2 и 3 шага можно сказать, что критичным является скорость выполнения, так как требуется достигнуть удовлетворительных результатов за малое количество поколений. Примем выполнение алгоритма за 4 шага за случай, когда важным является качество полученных результатов.

1. Выполнение генетического алгоритма за 2 поколения.

Второй шаг дал в большинстве случаев неплохие значения целевой функции. Распределение значений целевой функции приведено в табл. 4.

Таблица 4

Значение целевой функции при $N_c = 2$

< 6	от 6 до 15	> 15
48,3 %	20 %	31,7 %

2. При шаге 3.

На третьем шаге число приемлемых значений целевой функции возросло до 60 % (табл. 5).

Таблица 5

Значение целевой функции при $N_c = 3$

< 6	от 6 до 15	> 15
60 %	23 %	17 %

3. При шаге 4.

На четвертом шаге число приемлемых значений целевой функции увеличилось до 87 % (табл. 6).

Значение целевой функции при $N_c = 4$

< 6	от 6 до 15	> 15
87 %	8 %	5 %

На третьем шаге ($N_c = 3$) число приемлемых значений для целевой функции (меньше 6) составляет 60 %, что является удовлетворительным значением. Это значит, что уже на третьем поколении мы можем получить в большинстве случаев неплохие значения целевой функции.

На четвертом шаге число приемлемых значений целевой функции достигло 87 %.

Очевидно, на последующих шагах решение будет давать еще более хорошие результаты. Однако нужно помнить, что в случае, когда время выполнения является критичным, количество шагов при вычислении ограничено. Поэтому приходится выбирать между качеством выполнения генетических алгоритмов и скоростью выполнения генетических алгоритмов.

Из вышесказанного можно заключить следующее: эксперимент показал, что генетические алгоритмы обладают достаточной точностью и хорошей сходимостью при решении задач аппроксимации.

Библиографический список

1. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. – Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с.
2. Федоровский К.Ю. Аппроксимация полианалитическими многочленами. – М.: ИПМ им. М.И. Келдыша, 2016. – 197 с.

Сведения об авторах

Кулагина Марина Михайловна – ведущий электроник, старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: mmkulag@mail.ru

Маматова Алина Рафаэловна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ1-20-1м, г. Пермь, e-mail: alina-mamatova-98@mail.ru

Р.Ш. Маммадли

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ГЕТЕРОГЕННОЙ ВОДНОЙ СРЕДЕ

Статья посвящена построению оптимальной кинетической модели фотокаталитического очищения загрязнителей в гетерогенной водной среде. Конкретно рассмотрена задача оптимизации групповой реализации фотокаталитического процесса в любой зафиксированной момент t_0 в гетерогенно загрязненной среде, где степени загрязнения мест взятия проб воды составляют упорядоченное линейное множество. Предложен параметрический метод оптимизации указанного группового каталитического процесса, предусматривающий наложение некоторого ограничительного условия на искомую оптимальную функцию. Дано решение модельной задачи минимизации оставшегося в момент t_0 загрязнения с применением метода безусловной вариационной оптимизации.

Ключевые слова: фотокатализ, оптимизация, кинематическое уравнение, моделирование, органические загрязнители.

R.Sh. Mammadli

CONSTRUCTION OF AN OPTIMAL KINETIC MODEL FOR THE PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF POLLUTANTS IN A HETEROGENEOUS AQUATIC ENVIRONMENT

The article is devoted to the construction of an optimal kinetic model of photocatalytic purification of pollutants in a heterogeneous aquatic medium. Specifically, the problem of optimizing the group implementation of a photocatalytic process at any fixed time t_0 in a heterogeneously polluted environment where the degree of contamination of the water sampling sites is an ordered linear set is considered. A parametric method for optimizing the above-mentioned group catalytic process is proposed, providing for the application of some restrictive condition to the desired optimum function. The solution of the model problem of minimizing the remaining pollution at t_0 with the application of method of unconditional variation optimization is given.

Keywords: photocatalysis, optimization, kinematic equation, modelling, organic pollutants.

Как отмечается в работе [1], применение кинематических моделей к интерпретации экспериментальных данных в области фотокаталитического очищения водных загрязнителей позволяет оптимизи-

ровать систему фотореактора, чтобы достичь достаточного объема фотореактора и минимизировать ту часть реактора, которая не облучается. Согласно результатам ряда экспериментальных работ, простейшие модели кинетики нулевого или первого порядка достаточны для описания и моделирования процесса фотоминерализации органических соединений [1–3].

В качестве примера можно рассмотреть работу [2], где изложен процесс фотокаталитической деградации норфлоксацина (NOF), широко используемого антибактериального вещества. Однако чрезмерное содержание NOF в воде нарушает экосистемный баланс водной среды. Согласно [2], для удаления NOF с акватории могут быть использованы окись цинка и сульфид цинка с применением ультрафиолетового излучения.

При этом кинетика фотолитической деградации загрязнителей вод соответствует кинетической модели псевдопервого рода [1]. Интегрирование этой модели дает следующее выражение:

$$\ln \frac{C_0}{C_1} = k_t, \quad (1)$$

где C_0 – первичная концентрация NOF; C_1 – концентрация NOF в момент t ; k – постоянная скорости реакции псевдопервого порядка; t – время реакции.

Вместе с тем, так отмечается в работе [1], указанная модель применима в ограниченных условиях, когда концентрация *solute* слишком мала. Как отмечается в работе [1], кинетический процесс с насыщением (тип плато) обычно появляется при условии, если скорость окисления растет в течение всего оптического излучения. Этот процесс соответствует « $L - H$ » схеме, где скорость фотокаталитической реакции τ определяется как

$$\tau = \frac{dC}{dt} = K_t \theta_x = \frac{K_r \cdot K_c}{1 + K_c}, \quad (2)$$

где θ_x – коэффициент охвата поверхности органическим веществом; K_r – постоянная скорости реакции; C – концентрация органического вещества; K – адсорбционная постоянная Ленгмюра.

Выражение (2) применяется при следующих допущениях: система реакции находится в динамическом равновесии; реакция происходит на поверхности.

Для большинства фотокаталитических реакций $K_r = 10^6 \div 10^9 \text{ мс}^{-1}$ [4]. Уравнение (1) может быть решено относительно t с использова-

нием различных дискретных значений C , а величину K можно определить, используя линеаризационную форму (1), в которой определяется функциональная зависимость $1/t$ от $1/C$.

При малых значениях концентрации органических веществ имеем

$$C = C_0 \cdot e^{-k't}, \quad (3)$$

где $k' = k_r K$.

В этом случае получаем уравнение, аналогичное (1):

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -k't. \quad (4)$$

В работах [5, 6] предложена следующая модель для описания процесса фотокаталитической дезинфекции воды от микроорганизмов:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k't, \quad (5)$$

где скорость процесса дезинфекции является линейной функцией количества бактерий и катализатора; N – количество бактерий на момент t ; N_0 – исходное количества бактерий; k – скорость реакции.

Вместе с тем в дальнейшем появились работы, где утверждался нелинейный характер процесса фотокатализа. Так, базируясь на известной работе [5], согласно которой модель (5) следовало бы изменить как

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k' C^n \cdot T^m, \quad (6)$$

авторы работ [7, 8] предложили следующую модель

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k_1 [1 - \exp(-k_2 t)]^{k_3}, \quad (7)$$

где k_1, k_2, k_3 – эмпирические константы.

Целью настоящей работы является:

1. Формирование обобщенной нелинейной модели процесса фотокаталитического очищения вод.

2. Оптимизация группового процесса очищения вод на территории с гетерогенной степенью загрязнения вод.

Нами предлагается следующая обобщенная модель процесса фотокаталитического очищения воды:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k' \cdot f(t), \quad (8)$$

где k' – эмпирическая константа; $f(t)$ – нелинейная функция времени излучения t .

Для оптимизации группового процесса фотокаталитической очистки вод гетерогенной водной среды модель (8) запишем как

$$N = N_0 \cdot \exp[-k' \cdot f(t)]. \quad (9)$$

Рассмотрим следующую модель водной среды с гетерогенной степенью загрязнения:

1. Имеется n количества водных участков, где показатель N_{0i} ; $i = \overline{1, n}$; определяется как

$$N_{0i} = N_{0,i} + \Delta N_0, \text{ где } \Delta N = \text{const}. \quad (10)$$

2. N_0 является аргументом параметра k' , где

$$k' = \psi(N_0). \quad (11)$$

С учетом вышеприведенных положений (1) и (2) модель (9) перепишем для фиксированного $t = t_0$:

$$N = N_0 \cdot \exp[-k' \cdot (N_0)f(t_0)]. \quad (12)$$

Суммируя (12) по всем i , получим

$$N_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_{0i} \exp[-k'(N_0)f(t_0)]. \quad (13)$$

Для вычисления N_{Σ} воспользуемся условной непрерывной моделью N_0 . В этом случае получим

$$N_{\Sigma 2} = \frac{1}{N_{0\max}} \int_0^{N_{0\max}} N_0 \cdot \exp[-k'\tau(N_0)] dN_0. \quad (14)$$

Таким образом, на основе (14) можно сформулировать оптимизационную задачу, заключающуюся в нахождении такой функции $\tau(N_0)$, при которой $N_{\Sigma 2} \rightarrow \min$.

Для решения задачи оптимизации учитываем специфику группового процесса фотокаталитического очищения в гетерогенной среде, где показатель k' может быть в любой функциональной связи с показателем N_0 .

Физический смысл ограничительного условия (15) заключается в ограничении средств, пригодных для изменения k' по участкам методом фотокатализа. С учетом этого обстоятельства несколько сузим пространство возможных функций $\tau(N_0)$, наложив следующее ограничительное условие к выбору оптимальной функции:

$$\int_0^{N_{0\max}} \tau(N_0) dN_0 = C; C = \text{const}. \quad (15)$$

С учетом выражений (14) и (15) сформируем целевой функционал безусловной вариационной оптимизации

$$N_{\Sigma} = \frac{1}{N_{0\max}} \int_0^{N_{0\max}} N_{0i} \exp[-k'(N_0)] f(t_0) dN_0 + \\ + \lambda \left[\int_0^{N_{0\max}} k'(N_0) f(t_0) dN_0 - C \right]. \quad (16)$$

Таким образом, решение задачи минимизации N_{Σ} в групповом процессе фотокатализа в гетерогенно загрязненной водной среде согласно построенной модели (8)–(6) сводится к отысканию такого вида функции $\tau(N_0)$, при которой N_{Σ} достиг бы минимального значения.

Для фиксированного t_0 для упрощения записи примем $f(t_0) = 1$. При этом, согласно [4], решение задачи (16) должно удовлетворить условию

$$\frac{\partial \left\{ \frac{N_0}{N_{0\max}} \exp[-k'(N_0)] + \lambda \cdot k' N_0 \right\}}{\partial k'(N_0)} = 0. \quad (17)$$

Из (17) имеем:

$$- \left(\frac{N_0}{N_{0\max}} \right) \exp[-k'(N_0)] + \lambda = 0. \quad (18)$$

Из (18) находим

$$k'(N_0) = \ln \frac{N_0}{N_{0\max} \cdot \lambda}. \quad (19)$$

С учетом (15) и (19) находим

$$\int_0^{N_{0\max}} \ln d \frac{N_0}{N_{0\max} \cdot \lambda} N_0 = C. \quad (20)$$

Из (20) находим

$$\lambda = \exp \left[\frac{1}{N_{0\max}} \int_0^{N_{0\max}} \ln(k' N_0) dN_0 - C - \ln N_{0\max} \right] = \lambda_0. \quad (21)$$

Таким образом, решение задачи имеет вид

$$k'(N_0) = \ln \frac{N_0}{N_{0\max} \cdot \lambda_0}. \quad (22)$$

Таким образом, при наличии зависимости (22) между k' и N_0 суммарное количество загрязнения, оставшееся после некоторого фиксированного момента t_0 , достигнет минимума, так как производная выражения (18) по $\tau(N_0)$ оказывается всегда положительной величиной.

Таким образом, как показывают результаты известных экспериментальных исследований, существует ряд фотокаталитических процессов, которые имеют нелинейный характер и не могут быть описаны кинетическим уравнением псевдопервого порядка.

Конкретно рассматривается задача оптимизации групповой реализации фотокаталитического процесса в любой сиксированной момент t_0 в гетерогенно загрязненной среде, где степени загрязнения мест взятия проб воды составляют упорядоченное линейное множество.

Предложен параметрический метод оптимизации указанного группового каталитического процесса, предусматривающий наложение некоторого ограничительного условия на искомую оптимальную функцию.

Дано решение модельной задачи минимизации оставшегося в момент t_0 загрязнения с применением метода безусловной вариационной оптимизации.

Библиографический список

1. Chong M.N., Jin B., Chow C.W.K., Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review / M.N. Chong, B. Jin, C.W.K. Chow, C. Saint // *Water Research*. – 2010. – Vol. 44. – P. 2997–3027.
2. Synergistic adsorption – photocatalytic degradation effect and norfloxacin mechanism of ZnO/ZnS@BC under UV – light irradiation / W. Liu, T. He, Y. Wang, G. Ning, Z. Xu, X. Chen, X. Hu, Y. Wu, Y. Zhao // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – P. 11903. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68517-x> (дата обращения: 07.05.2021).
3. Xian T. Enhanced photocatalytic activity of BaTiO₃@g-C₃N₄ for the degradation of methyl orange under simulated sunlight irradiation // *J. Alloys Compd.* – 2015. – No. 622. – P. 1098–1104.
4. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends / S. Malato, P. Fernandez-Ibanez, M.I. Maldonado, J. Blanco, W. Gernjak // *Catal Today*. – 2009. – Vol. 147. – P. 1–59.
5. Cho M., Chung H., Choi W., Yoon J. Linear correlation between inactivation of *E. coli* and OH radical concentration in TiO₂ photocatalytic disinfection // *Water Res.* – 2004. – Vol. 38. – P. 1069–1077.

6. Cho M., Yoon J. Measurement of OH radical CT for inactivating *Cryptosporidium parvum* using photo/ferrioxalate and photo/TiO₂ systems // J. Appl. Microbial. – 2008. – Vol. 104. – P. 759–766.

7. Kinetics of the photocatalytic disinfection of *Escherichia coli* suspensions / J. Marugan van, R. Grieken, C. Sordo, C. Cruz // Appl. Catal. B: Environ. – 2008. – Vol. 82. – P. 27–36.

8. Cho M., Chung H., Yoon J. Disinfection of water containing natural organic matter by using ozone – initiated radical reactions // Appl. Environ. Microbial. – 2003. – Vol. 69. – P. 2284–2291.

Сведения об авторе

Маммадли Рашад Шохрат оглы – аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: r_mammadli@list.ru

Р.Ш. Маммадли

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЧИЩЕНИЯ ВОДОЕМОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Статья посвящена вопросам построения модели фотокаталитического очищения водоемов от органических загрязнителей. На основе предложенного геометрического представления результата фотокаталитической очистки разработан метод оптимизации реакции фотокатализа. Проанализированы возможные варианты оптимизационных задач в контексте алгоритма реализации метода. Приведено модельное решение одной из сформированных оптимизационных задач применительно к вопросу очищения группы водоемов с различной концентрацией загрязнителя в смысле нахождения оптимальных скоростей фотокатализа в этих водоемах.

Ключевые слова: фотокатализ, оптимизация, моделирование, водоемы, органические загрязнители.

R.Sh. Mammadli

CONSTRUCTION OF A PHOTOCATALYTIC METHOD FOR REMOVING ORGANIC POLLUTANTS FROM WATER BODIES

The article is devoted to the construction of a model for the photocatalytic removal of organic pollutants from water bodies. Based on the proposed geometric representation of the photocatalytic purification result, a method for optimizing the photocatalysis reaction has been developed. Possible options for optimization problems in the context of the method implementation algorithm were analyzed. The model solution of one of the formed optimization problems is given for the question of purification of a group of waters with different concentration of pollutant in the sense of finding optimum speed of photo - catalysis in these waters.

Keywords: photocatalysis, optimization, modelling, water bodies, organic pollutants.

Одним из эффективных методов очистки сточных вод от органических загрязнителей является метод фотокаталитического очищения. Такие реакции осуществляются обычно с помощью катализатора типа TiO_2 , который, будучи полупроводником, оказавшись под воздействием оптического излучения, адсорбирует органический загрязнитель с помощью своей фотоактивированной поверхности.

Существуют различные кинетические модели фотокаталитического очищения среды от органических соединений. Рассмотрим некоторые из них.

Согласно модели Малато [1], имеет место соотношение

$$\ln \left(\frac{N_0}{N} \right) = -kt, \quad (1)$$

где N_0 – концентрация загрязнителя в момент $t = 0$; N – концентрация загрязнителя в момент t ; k – скорость реакции.

В модели Хом [2] используется следующее соотношение

$$\ln \left(\frac{N_0}{N} \right) = -kC^n T^m, \quad (2)$$

где n, m – эмпирические постоянные; N, N_0 – концентрации загрязнителей в моменты T и $(T = 0)$ соответственно; k – скорость реакции; C – концентрация катализатора.

Отметим, что модель (2) в отличие от (1) является нелинейной.

Также существует модель Моругана [3], согласно которой

$$\ln \left(\frac{N_0}{N} \right) = -k_1 [1 - \exp(-k_2 t)]^{k_3}, \quad (3)$$

где k_1, k_2, k_3 – эмпирические коэффициенты.

Согласно другой модели, предложенной в [4],

$$\frac{dN}{dt} = -kN^x C^n, \quad (4)$$

где x может принимать значения $x = 1$, когда получаем модель Chick – Watson [1], а при $x \neq 1$ выражение (4) называется рациональной моделью.

Отметим, что существуют более сложные модели. Так, например, в работе [4] приведена модель

$$\ln \frac{N}{N_0} = -n \log \left[1 + \frac{CT}{k} \right]. \quad (5)$$

С учетом вышеприведенных моделей фотокаталитического процесса представляется целесообразным трехмерная интерпретация таких реакций, где в качестве координатных осей приняты: k – скорость реакции, включающая в себя концентрацию катализатора; T – длительность воздействия оптического излучения; N_0 – исходная концентрация загрязнителя.

С учетом предлагаемой трехмерной интерпретации результатов фотокаталитической реакции (рисунок) рассмотрим возможность оптимизации таких процессов, используя метод уменьшения размерности.

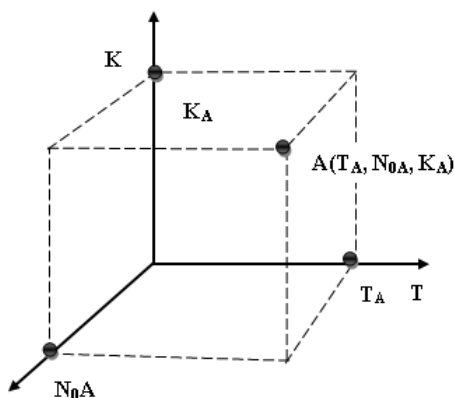


Рис. Трехмерная интерпретация результатов фотокаталитической реакции. Точка A – пример представления фотокаталитической реакции с координатами $(T_A, N_{0A}, k_A) \cdot N_0$

Предлагаемый метод оптимизации фотокаталитических процессов может быть изложен в виде следующего операционного алгоритма:

1. Выбор независимой переменной, условно принимаемой за непрерывную величину. В качестве независимой переменной могут быть выбраны.

1.1. k – обобщенная скорость реакции. В этом случае может быть поставлена задача поиска оптимальных функций $N_0 = N_0(k)$ или $T = T(k)$.

1.2. N_0 – концентрация загрязнителя в рассматриваемых водных объектах. В этом случае ставится задача поиска оптимальных функций $k = k(T)$ или $T = T(N_0)$.

1.3. T – время воздействия оптического излучения. В этом случае ставится задача поиска оптимальных функций $k = k(T)$ или $N_0 = N_0(T)$.

2. Составляется целевой функционал оптимизации.

2.1. В первом случае:

$$F = \int_0^{k_{\max}} F(N_0(k), T, k) dk \quad (6)$$

или

$$F = \int_0^{k_{\max}} F(T(k), N_0, k) dk. \quad (7)$$

2.2. Во втором случае:

$$F = \int_0^{N_{0\max}} F(k(N_0), N_0, T) dN_0 \quad (8)$$

или

$$F = \int_0^{N_0^{\max}} F(T(N_0), N_0, k) dN_0. \quad (9)$$

2.3. В третьем случае:

$$F = \int_0^{T^{\max}} F(k(T), T, N_0) dT \quad (10)$$

или

$$F = \int_0^{T_0^{\max}} F(N_0(T), T, k) dT. \quad (11)$$

3. Наложение интегрального ограничения на искомую функцию. При этом вводимое ограничение должно быть физически интерпретировано.

3.1. Для функционала (6) вводится

$$\int_0^{k^{\max}} N_0(k) dk = C_1; \quad C_1 = \text{const}. \quad (12)$$

3.2. Для функционала (7) вводится:

$$\int_0^{k^{\max}} T(k) dk = C_2; \quad C_2 = \text{const}. \quad (13)$$

3.3. Для функционала (8) вводится

$$\int_0^{N_0^{\max}} k(N_0) dN_0 = C_3; \quad C_3 = \text{const}. \quad (14)$$

3.4. Для функционала (9) вводится

$$\int_0^{N_0^{\max}} T(N_0) dN_0 = C_4; \quad C_4 = \text{const}. \quad (15)$$

3.5. Для функционала (10) вводится

$$\int_0^{T^{\max}} k(T) dT = C_5; \quad C_5 = \text{const}. \quad (16)$$

3.6. Для функционала (11) вводится

$$\int_0^{T_0^{\max}} N_0(T) dT = C_6; \quad C_6 = \text{const}. \quad (17)$$

4. Составление задачи безусловной вариационной оптимизации.

4.1. С учетом (6) и (12) получаем

$$S_1 = \int_0^{k^{\max}} F(N_0(k), T, k) dk + \lambda \left[\int_0^{k^{\max}} N_0(k) dk - C_1 \right]. \quad (18)$$

где λ – множитель Лагранжа.

4.2. С учетом (7) и (13) получаем:

$$S_2 = \int_0^{k^{\max}} F(T(k), N_0, k) dk + \lambda \left[\int_0^{k^{\max}} T(k) dk - C_2 \right]. \quad (19)$$

4.3. С учетом (8) и (14) получаем:

$$S_3 = \int_0^{N_0 \max} F(k(N_0), N_0, T) dN_0 + \lambda \left[\int_0^{k \max} k(N_0) dN_0 - C_3 \right]. \quad (20)$$

4.4. С учетом (9) и (15) получаем:

$$S_4 = \int_0^{N_0 \max} F(T(N_0), N_0, k) dN_0 + \lambda \left[\int_0^{N_0 \max} T(N_0) dN_0 - C_4 \right]. \quad (21)$$

4.5. С учетом (10) и (16) получаем:

$$S_5 = \int_0^{T \max} F(k(T), T, N_0) dT + \lambda \left[\int_0^{T \max} k(T) dT - C_5 \right]. \quad (22)$$

4.6. С учетом (11) и (17) получаем

$$S_6 = \int_0^{T \max} F(N_0(T), T, k) dT + \lambda \left[\int_0^{T \max} N_0(T) dT - C_6 \right]. \quad (23)$$

В качестве модельного исследования приведем решение одной из оптимизационных задач (18)–(23).

В качестве основы примем модель (2), написав ее в следующем виде

$$\log \frac{N}{N_0} = -k_0 \cdot T^m, \quad (24)$$

где $k_0 = k' \cdot C^n$.

С учетом (24) получим

$$N = N_0 \exp[-k_0 T^m]. \quad (25)$$

Введем на рассмотрение функцию

$$k_0 = k_0(N_0), \quad (26)$$

которая будет искомой функцией.

Соответствующий функционал безусловной вариационной оптимизации имеет вид

$$S = \int_0^{N_0 \max} N_0 \exp[-k_0(N_0) T^m] dN_0 + \lambda \left[\int_0^{N_0 \max} k_0(N_0) dN_0 - C \right]. \quad (27)$$

Решение задачи (27), согласно [5], должно удовлетворять условию

$$-N_0 T^m \exp[-k_0(N_0) \cdot T^m] + \lambda = 0. \quad (28)$$

Из (28) получаем:

$$k_0(N_0) = \frac{1}{T^m} \log \frac{N_0 T^m}{\lambda}. \quad (29)$$

Из (29) имеем

$$\lambda = \exp[\ln N_0 T^m - k_0(N_0) \cdot T^m] = \lambda_0. \quad (30)$$

Следовательно, искомая оптимальная функция $k_0(N_0)_{opt}$ имеет вид

$$k_0(N_0)_{opt} = \frac{1}{T^m} \ln \left(\frac{N_0 T^m}{\lambda_0} \right). \quad (31)$$

При этом решение (31) обеспечивает минимальную величину S , так как вторая производная интегранта в (27) оказывается положительной величиной.

Таким образом, на основе предложенного трехмерного представления результата фотокаталитической реакции разработан метод оптимизации таких реакций. Рассмотрены возможные варианты оптимизационных задач в контексте алгоритма реализации метода.

Дано модельное решение одной из сформированных оптимизационных задач применительно к вопросу очищения группы водоемов с различной концентрацией загрязнителя в смысле нахождения оптимальных скоростей фотокатализа в этих водоемах.

Библиографический список

1. Water research. – 2010. – Vol. 44. – P. 2997–3027.
2. Hom L.W. Kinetics of chlorine disinfection in an ecosystem // J. Sanit. Eng. Div. – 1972. – Vol. 98. – P. 183–194.
3. Marugan J.G.R., Sordo C., Cruz C. Kinetics of the photocatalytic disinfection of Escherichia coli suspensions // Appl. Catal. B: Environ. – 2008. – Vol. 82. – P. 27–36.
4. Gyurek L.L., Finch G.R. Modelling water treatment chemical disinfection kinetics // J. Environ. Eng. – 1998. – Vol. 124. – P. 783–792.
5. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М. Наука, 1974. – С. 432.

Сведения об авторе

Маммадли Рашад Шохрат оглы – аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку Азербайджанская Республика, e-mail: r_mammadli@list.ru

Секция II

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

И.А. Крылова, Б.В. Кавалеров

МОДИФИКАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Рассматривается возможность применения электростартера в составе энергоустановки на базе газотурбинного двигателя внешнего сгорания как опции для минимизации отклонения частоты вращения в переходных режимах при набросе и сбросе нагрузки. Обозначен принцип стабилизации частоты вращения турбокомпрессора с помощью электростартера. Показан способ взаимодействия системы автоматического регулирования электростартера и системы автоматического управления газотурбинным двигателем. Получены графики переходных процессов по частоте вращения и току стартера в случае применения его для стабилизации частоты вращения при набросе и сбросе нагрузки.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель внешнего сгорания, электростартер, стабилизация частоты вращения.

I.A. Krylova, B.V. Kavalеров

MODIFICATION OF THE SPEED CONTROL SUBSYSTEM OF A GAS TURBINE ENGINE WITH EXTERNAL COMBUSTION FOR IMPROVING THE QUALITY OF REGULATION

The article discusses the use of an electric starter as part of the power plant based on a gas turbine engine with external combustion for the goal of minimizing the speed deviation in transient when load rise or load drop. The principle of turbo-charger rotation speed stabilization using an electric starter is shown. The method of interaction between the electric starter automatic control system and the gas turbine engine automatic control system is described. Graphs of transients in the speed and current of the starter are obtained it is used to stabilize the speed during the load rise or load drop.

Keywords: gas turbine engine with external combustion, electric starter, speed stabilization.

Концептуальные проработки применения газотурбинного двигателя (ГТД) внешнего сгорания, в качестве привода электрогенерирующего оборудования ведутся в последнее время предприятиями

ТЭК, атомной, космической, судостроительной отраслей. В ведущих зарубежных странах – США, Японии, Германии, Франции, Южной Кореи, Китае и др., а также таких международных организациях, как МАГАТЭ, развёрнуты работы по созданию высокоэффективных энергетических установок на базе подобных двигателей, использующих сжатый углекислый газ в качестве рабочего тела.

Изменение состояния нагрузки энергоустановки на базе ГТД внешнего сгорания требует адекватной реакции системы автоматического управления для парирования сброса или наброса нагрузки. Особенностью энергоустановки на базе ГТД с внешними камерами сгорания является большая инерционность и нестационарность тепловых процессов в теплообменных аппаратах установки:

- подогревателях рабочего тела;
- газожидкостных теплообменниках;
- рекуператоре;
- агрегатах воздушного охлаждения газа.

Традиционные подходы к обеспечению стабилизации частоты вращения, например регулирование частоты вращения турбокомпрессора за счёт изменения расхода топлива в камеру сгорания, оказываются неэффективными из-за запаздывания вносимого в тракт управления перечисленными выше теплообменными аппаратами.

Единственным реальным способом парирования возмущений и, как следствие, улучшение качества регулирования частоты вращения становится подвод извне дополнительной энергии на вал ГТД на время переходного процесса по системе управления энергоустановки на базе ГТД внешнего сгорания.

В качестве источника (или потребителя) дополнительной подводимой (или отводимой) мощности может выступать электрический двигатель на валу ГТД, которым может являться электростартер ГТД. Таким образом, в многосвязную систему автоматического управления (САУ) ГТД должен быть введён дополнительный контур управления мощностью на валу электростартера, обеспечивающий подвод или отвод механической мощности к валу ГТД в моменты наброса и сброса нагрузки.

Настройка регулятора частоты вращения ГТД. Регулятор частоты вращения ГТД часто имеет структуру, приведенную на рис. 1 [1].

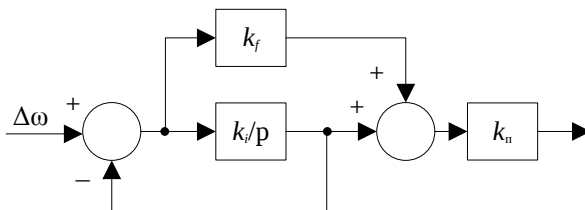


Рис. 1. Структура регулятора частоты вращения вала ГТД

Передаточная функция имеет вид [1]:

$$W(p) = k_n \frac{1 + \frac{k_f}{k_i} \cdot p}{1 + \frac{1}{k_i} \cdot p}, \quad (1)$$

где k_i , k_f , k_n – коэффициенты усиления интегратора, форсировки и пропорциональности соответственно.

Настройка регулятора частоты вращения ГТД исследуется методом математического моделирования. Модель ГТД – стандартная с апериодическим звеном, отражающим инерционность вращающихся масс и с инерционностями тепловых процессов на подогрев, подачу и сгорание топлива.

Графики переходных процессов по частоте вращения при набросе и сбросе нагрузки 100, 600 и 1200 кВт показаны на рис. 2. Из этих графиков видно, что регулятор недостаточно хорошо справляется с возмущениями в нагрузке ГТД.

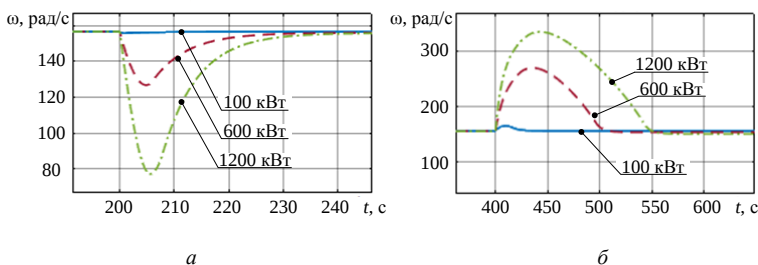


Рис. 2. Наброс на 200 с (а) и сброс на 400 с (б) мощности:

100 кВт, — 600 кВт, - - - 1200 кВт

Описание принципа стабилизации частоты с помощью электростартера. Известно, что избыточный момент с ускорением ротора турбокомпрессора связывает соотношение (2):

$$\Delta M = M_{ГДТ} - M_{нагр} = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

где ΔM – избыточный момент, Нм, $M_{ГДТ}$ – момент, развиваемый турбокомпрессором, Нм, $M_{нагр}$ – момент нагрузки, Нм, J_{Σ} – суммарный полярный момент инерции вращающихся механически связанных масс, кг/м², ω – угловая скорость, рад/с.

При изменении нагрузки (сбросе или набросе) баланс моментов нарушается, система начинает ускоряться либо замедляться. Для стабилизации частоты вращения в переходном режиме, когда контура управления САУ ГТД работают в режиме сброса или набора мощности, предлагается включать электростартер, компенсируя при этом избыток или дефицит мощности на валу турбокомпрессора (3):

$$\Delta M = M_{ГДТ} \pm M_{нагр} \mp M_{ст} = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

где $M_{ст}$ – момент электростартера, Нм.

Структурная схема системы управления. Предложен следующий способ включения электростартера в работу при набросе и сбросе нагрузки с целью улучшения показателей качества регулирования частоты вращения. При управлении электростартером в замкнутом контуре скорости (рис. 3) осуществлено прямое управление моментом электростартера, который представляет собой синхронный двигатель с постоянными магнитами, управляемый от преобразователя частоты. Контур регулирования скорости электростартера настроен на оптимум по модулю и имеет П-регулятор скорости $PC_{ст}$.

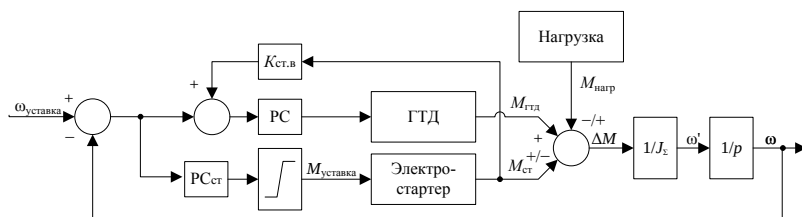


Рис. 3. Увеличенная структурная схема системы ГТД-Стартер-Нагрузка (управление стартером в замкнутом контуре скорости): PC – регулятор скорости ГТД, $PC_{ст}$ – регулятор скорости электростартера, $K_{ст.в}$ – весовой коэффициент

Результат компенсации дефицита или избытка момента представлен на рис. 4–6, где показаны переходные процессы по частоте вращения и току электростартера.

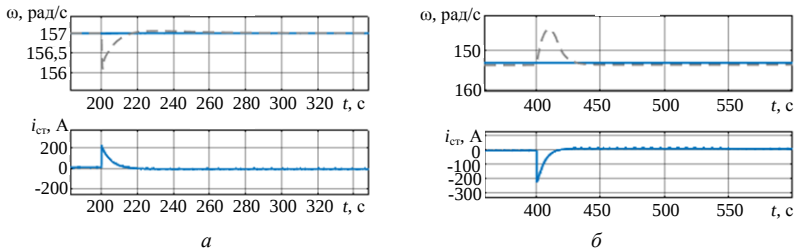


Рис. 4. Наброс на 200 с (а) и сброс на 400 с (б) нагрузки 100 кВт (управление электростартером в замкнутом контуре скорости)

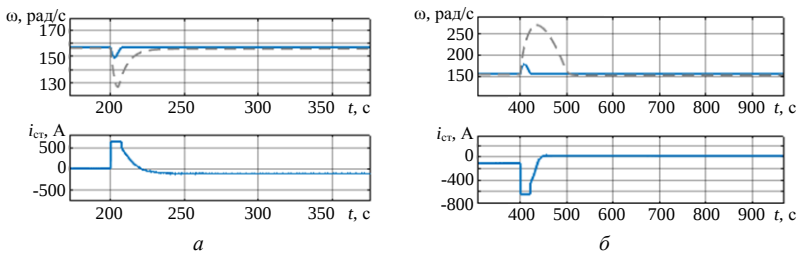


Рис. 5. Наброс на 200 с (а) и сброс на 400 с (б) нагрузки 600 кВт (управление электростартером в замкнутом контуре скорости)

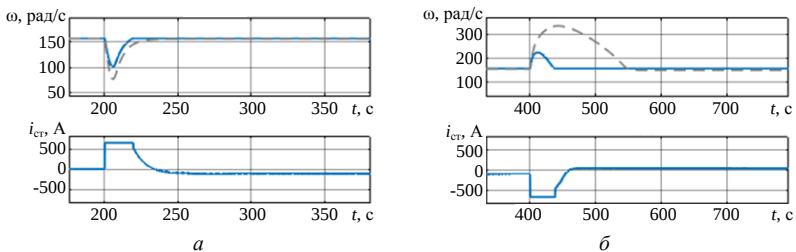


Рис. 6. Наброс на 200 с (а) и сброс на 400 с (б) нагрузки 1200 кВт (управление электростартером в замкнутом контуре скорости)

Стоит отметить, что при применении данного способа несмотря на относительно быструю стабилизацию частоты вращения при набросе и сбросе нагрузки, электростартер продолжает потреблять минимальную мощность из сети после того, как частота вращения достигла значения, близкого к номинальному значению. Длительность данного процесса зависит не только от величины изменения нагрузки на валу, но и от быстродействия контура скорости ГТД. По этой причине с целью минимизации потребления мощности из сети предложено выводить электростартер из режима поддержания частоты вращения по достижению оборотов, близких к границам допустимого изменения частоты вращения (что зависит от конкретных требований к ГТД и от его применения и в общем случае регламентировано нормативными документами [2, 3]), а также по достижению минимума потребления тока стартера. Также введение уставок по частоте вращения и току обеспечит несрабатывание электростартера при небольших возмущениях (рис. 7–9). В рассматриваемом случае приняты допустимая величина изменения угловой скорости 156–158 рад/сек, минимальный ток электростартера 10 А.

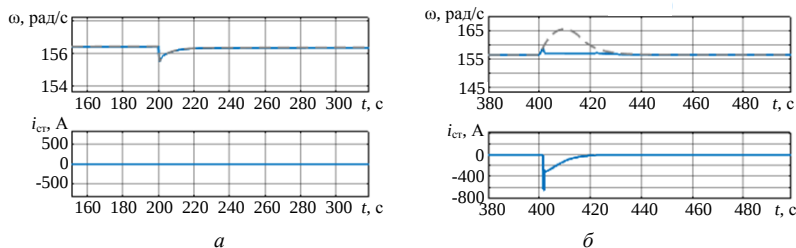


Рис. 7. Наброс на 200 с (а) и сброс на 400 с (б) нагрузки 100 кВт (управление электростартером в замкнутом контуре скорости с уставкой по току и скорости)

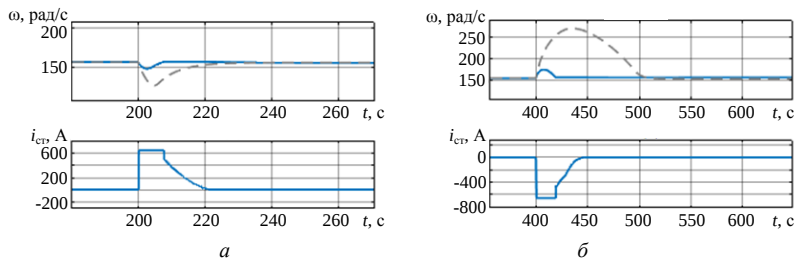


Рис. 8. Наброс на 200 с (а) и сброс на 400 с (б) нагрузки 600 кВт (управление электростартером в замкнутом контуре скорости с уставкой по току и скорости)

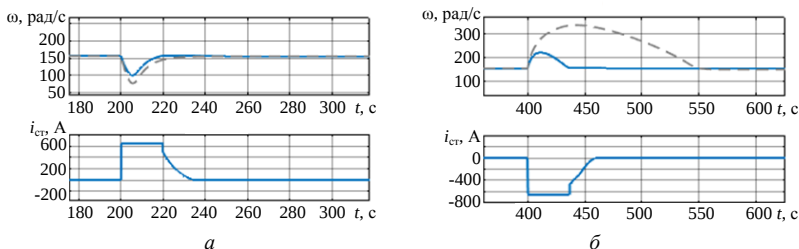


Рис. 9. Наброс на 200 с (а) и сброс на 400 с (б) нагрузки 1200 кВт (управление электростартером в замкнутом контуре скорости с уставкой по току и скорости)

Закключение. Рассмотрен вариант применения электростартера в составе энергоустановки на базе ГТД внешнего сгорания как опция для минимизации отклонения частоты вращения при набросах и сбросах нагрузки. Максимальное отклонение частоты вращения (в худшем случае сброса 100 % нагрузки) сократилось на 40 %, время переходного процесса сократилось на 35 %.

Библиографический список

1. Автоматизация настройки регуляторов газотурбинных мини-электростанций при компьютерных испытаниях/ А.И. Полулях, И.Г. Лисовин, Б.В. Кавалеров, А.А. Шигапов // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 6. – С. 14–17.
2. ГОСТ Р 50783-95. Электроагрегаты и передвижные электростанции с двигателями внутреннего сгорания. Общие технические требования [Текст] = Power generating sets and mobile electric power stations with internal combustion engines. General technical requirements: гос. стандарт РФ: изд. офиц.: дата введения 1996-01-01 / Госстандарт России. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
3. Применение электростанций собственных нужд нового поколения с поршневым и газотурбинным приводом: СТО Газпром 2-1.11-832-2014 / Науч.-исслед. ин-т природ. газов и газовых технологий–Газпром ВНИИГаз. – Офиц. изд. – Взамен руководящего норматив. документа «Применение электростанций собств. нужд нового поколения с поршневым и газотурбин. Приводом» РД 51-0158623-07-95; Введ. с 2015-07-06. – СПб.: Газпром экспо, 2016.

Сведения об авторах

Крылова Ирина Андреевна – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kia@rdturbo.ru

Кавалеров Борис Владимирович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kbv@pstu.ru

Б.Л. Джафарова

РАЗРАБОТКА МЕТОДА МУЛЬТИРЕАКТОРНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Статья посвящена построению методики многореакторного фотокаталитического очищения воды от загрязняющих веществ. Показано, что при оптимальной организации работы сети реакторов увеличение количества катализатора должно сопровождаться увеличением скорости фотокатализа, а также увеличением количества вводимого объема загрязненной воды. Вместе с тем в оптимальном режиме коэффициент пропорциональности между исходной концентрацией загрязнителя и коэффициент пропорциональности между исходной реактивностью фотоактивированной поверхности и оставшейся концентрацией компаунда будет меняться во времени и в некоторый момент может достигнуть максимума. Однако это обстоятельство не отменяет основной вывод проведенного исследования о необходимости обеспечения синхронного изменения указанных показателей в оптимальном режиме работы сети фотокаталитических реакторов.

Ключевые слова: оптимизация, фотокатализ, реактор, технология очистки, моделирование.

B.L. Jafarova

DEVELOPMENT OF A MULTI-REACTOR METHOD FOR REMOVING ORGANIC POLLUTANTS FROM WATER USING A PHOTOCATALYTIC PROCESS

The article is devoted to the construction of the method of multi-reactor photocatalytic purification of water from pollutants. It is shown that with optimum operation of the network of reactors, an increase in the number of catalysts should be accompanied by an increase in the rate of photocatalysis as well as an increase in the quantity of polluted water input. However, in an optimal regime, the proportionality factor between the initial pollutant concentration and the proportionality factor between the original photoactivated surface reactivity and the remaining compound concentration will change over time and in some cases The moment can reach its maximum. This does not, however, preclude the basic conclusion of the study that the synchronous change of these indicators should be ensured in the optimal operating mode of the photocatalytic reactor network.

Keywords: optimization, photocatalysis, reactor, cleaning technology, simulation.

Следует отметить, что фотокаталитический метод очистки различных органических загрязнений в целом подчиняется различным модификациям уравнения кинетики первого порядка [1–5]. При этом в большинстве публикаций, посвященных технологии фотокаталитической очистки, излагается конструкция одиночного реактора, в котором происходит фотокаталитическая очистка загрязненного вещества. Вместе с тем, если речь идет об очистке питьевой воды в больших объемах, естественным образом возникает необходимость повышения мощности очистительной установки. Этот вопрос может быть решен двумя путями: 1) создание и эксплуатация гигантских реакторов; 2) использование параллельного режима работы нескольких реакторов. Первый из указанных путей требует дополнительной проработки технологических основ построения таких реакторов, и к тому же относительно большая длительность процесса очистки указывает на нерациональность такого решения. Исходя из этих соображений можно прийти к выводу о том, что решение вопроса об очистке большого количества питьевой воды фотокаталитическим методом может быть найдено, базируясь на организации параллельной работы однотипных реакторов, образующих сеть очистительных установок. При этом естественным образом возникает вопрос об оптимизации параллельного режима работы таких устройств.

Следует отметить, что идея организации параллельной работы фотокаталитических реакторов не нова и в ряде работ [6–9] в той или иной форме рассматривалась.

Так, например, в работе [6] рассмотрены существующие варианты построения реакторов с 3D-сетью фотокатализаторов. Отмечается, что такие структуры имеют высокую адсорбционную способность. Вместе с тем такие структуры имеют жесткие термодинамические ограничения и обладают высокой вероятностью рекомбинации зарядов.

В работе [7] изложена конструкция реактора, в которой использованы несколько источников ультрафиолетового излучения, длины волн которых плавно охватывают диапазон 300÷400 нм. Результирующая эффективность такого реактора вычисляется путем суммирования отдельно вычисленных эффективностей для каждого ультрафиолетового излучателя, т.е. указанная конструкция реактора может быть рассмотрена в качестве установки с параллельно включенными отсеками.

В работе [8] указывается, что в фотокаталитических системах деградация компаунда зависит от таких показателей, как pH, температура, оптическое излучение, концентрация кислорода, первичная концентрация компаунда, количество фотокатализатора. Однако при чрезмерной загрузке фотокатализатора скорость реакции уменьшается, что объясняется высокой скоростью электронно-дырочной рекомбинации. При этом процесс моделирования процессов, происходящих в реакторе может быть указан в виде следующей последовательности: гидродинамическое моделирование → моделирование режима работы источника излучения → моделирование путей прохождения оптического излучения → кинетическое моделирование.

Далее в настоящей статье рассматриваются вопросы кинетического моделирования процессов, фотокатализа в параллельных структурах фотокаталитических реакторов. Фотокаталитический процесс включает использование наноструктурированного TiO_2 , активированного УФ-радиацией. Частицы TiO_2 , поглощая фотоны УФ-излучения, генерируют электронно-дырочные пары, которые, взаимодействуя с окружающей средой, приводят к появлению реакции типа окисления и редукции, результатом которых является декомпозиция загрязнителя.

В настоящее время в основном используются две основные конфигурации фотокаталитических реакторов.

В одной из них частицы фотокатализатора находятся во взвешенном состоянии, а фотокатализатор мобилизован на плоскостях вблизи поверхности реактора. Рассматриваемая далее интегральная кинетическая модель включает рассмотрение реакторов в качестве идентичных установок, описываемых известным уравнением кинетики псевдопервого порядка [9].

Предлагаемый метод основан на следующем кинетическом уравнении псевдопервого порядка:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = -k't. \quad (1)$$

где $k' = k_r K$ – коэффициент пропорциональности между исходной реактивностью фотоактивированной поверхности и оставшейся концентрацией компаунда (C); C_0 – исходная концентрация компаунда (загрязнителя); K – динамическая адсорбционная постоянная Ленгмюра.

Из выражения (1) получим

$$C = C_0 e^{-k't}. \quad (2)$$

Введем на рассмотрение следующие функции:

$$C_0 = f(S), \quad (3)$$

$$k' = \varphi(S), \quad (4)$$

где S – количество вводимого в реактор фотокатализатора.

На рисунке приведена схема рассматриваемой сети неидентичных фотокатализационных реакторов.

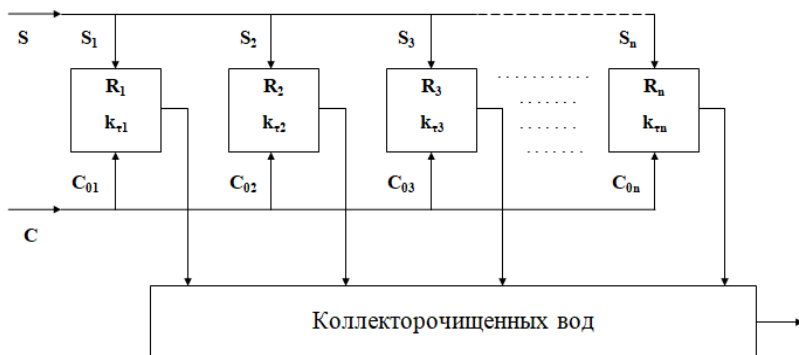


Рис. Структурная схема сети фотокатализационных реакторов, предназначенных для очистки воды

С учетом выражений (2)–(4), а также схемы сети реакторов, показанной на рисунке напомним

$$\sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n f(S_i) e^{-\varphi(S_i)t}. \quad (5)$$

Далее полагаем, что показатель S_i определяется как

$$S_i = S_{i-1} + \Delta S; \quad i = \overline{1, n}; \quad S_0 = 0; \quad \Delta S = \text{const}. \quad (6)$$

Выражение (5) запишем как

$$\sum_{i=1}^n C_i \cdot \Delta S = \sum_{i=1}^n f(S_i) e^{-\varphi(S_i)t} \Delta S. \quad (7)$$

Условно рассматривая S в качестве непрерывной величины, определим суммарную величину загрязняющей компоненты в воде F :

$$F = \int_0^{S_{\max}} f(S) e^{-\phi(S)t} dS. \quad (8)$$

Рассматривая $\phi(S)$ в качестве искомой функции, примем в отношении этой функции следующее ограничительное условие:

$$\int_0^{S_{\max}} \phi(S) dS = C; C = \text{const}. \quad (9)$$

Физически ограничение (9) возникает из-за ограниченности ресурса фотоактивированного катализатора.

С учетом выражений (8) и (9) можем составить вариационную задачу для вычисления оптимальной функции $\phi(S)$. Обозначим целевой функционал как F_0 . Имеем:

$$F_0 = \int_0^{S_{\max}} [f(S) e^{-\phi(S)t} dS] + \lambda \left[\int_0^{S_{\max}} \phi(S) dS - C \right], \quad (10)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Решение задачи (10) находим из условия:

$$\frac{\partial \{ f(S) e^{-\phi(S)t} + \lambda \cdot \phi(S) \}}{\partial \phi(S)} = 0. \quad (11)$$

Из выражения (11) получим

$$-f(S) \cdot t \cdot e^{-\phi(S)t} + \lambda = 0. \quad (12)$$

Из (12) находим

$$\phi(S) = \frac{1}{t} \ln \frac{f(S) \cdot t}{\lambda}. \quad (13)$$

С учетом выражений (9) и (13) находим

$$\lambda = \exp \left[\frac{t}{S_m} \int_0^{S_m} \frac{1}{t} \ln [f(S)t] dS - C \right] - \lambda_0. \quad (14)$$

Следовательно, решение (13) принимает вид

$$\phi(S) = \left(\frac{1}{t} \right) \cdot \ln \left[\frac{f(S) \cdot t}{\lambda_0} \right]. \quad (15)$$

Таким образом, при решении (15) F_0 получает минимальное значение. Это подтверждается тем, что производная (12) по $f(S)$ всегда имеет положительный знак.

Как видно из полученного решения (15), с изменением S функции $\varphi(S)$ и $f(S)$ должны меняться синхронно, т.е. одновременно расти или уменьшаться. Таким образом, при оптимальной организации работы сети реакторов увеличение количества катализатора должно сопровождаться увеличением скорости фотокатализа, а также увеличением количества вводимого объема загрязненной воды. Вместе с тем в оптимальном режиме коэффициент пропорциональности между $\varphi(S)$ и $f(S)$ будет меняться во времени и в некоторый момент может достигнуть максимума. Однако это обстоятельство не отменяет основной вывод проведенного исследования о необходимости обеспечения синхронного изменения $\varphi(S)$ и $f(S)$ в оптимальном режиме работы сети фотокаталитических реакторов.

Библиографический список

1. Photocatalytic degradation of Aniline using TiO_2 nanoparticles in a vertical circulating photocatalytic reactor/ F. Shahrezaei, Y. Mansouri, A.A.I. Zinatuzadeh, A. Akhbari // International Journal of Photocatalytic. 2012. – P. 8. DOI: 10.1155/2012/430638
2. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review / M.N. Chong, B. Jin, W.K. Christopher, W.K. Chow, C. Saint // Water Research. – 2010. – Vol. 44. – P. 2997–3027.
3. Jin-Hui Z. Research on UV/ TiO_2 photocatalytic oxidation of organic matter in drinking water and its influencing factors // Procedia Environmental Sciences. 2011 International Conference on Environmental Science and Engineering. – 2012. – Vol. 12. – P. 445–452.
4. Photocatalytic with easily recoverable linear engineered TiO_2 nanomaterials to prevent the formation of disinfection by products in drinking water / S.L. Gora, R. Liang, Y.N. Zhou, S.A. Andrews // Journal Environmental Chemical Engineering. – 2018. – Vol. 6. – P. 197–207.
5. Damo F., Icka P. Evaluation of water quality index for drinking water // Pol. J. Environ. Stud. – 2013. – Vol. 22, no. 4. – P. 1045–1051.
6. Three – dimensional photocatalytic with a network structure / W. Jiang, Y. Zhu, G. Zhu, Z. Zhang, X. Chen // J. Mater. Chem. A. – 2017. – Vol. 5. – P. 5661.

7. Passalia C., Alfano O.M., Brandi R.J. Integral design methodology of photocatalytic reactors for air pollution remediation // *Molecules*. – 2017. – Vol. 222. – P. 945. DOI: 10.3390/molecules22060945

8. Janczarek M., Kowalska E. Computer simulations of photocatalytic reactors // *Catalysts*. – 2021. – Vol. 11. – P. 198. – URL: <https://doi.org/10.3390/catal11020198> (дата обращения: 07.05.2021).

9. Photocatalytic membrane reactors (PMRs) in water treatments: configurations and influencing factors / X. Zheng, Z.P. Shen, L. Shi, R. Cheng, D.H. Yuan // *Catalysts*. – 2017. – Vol. 7. – P. 224. DOI: 10.3390/catal7080224

Сведения об авторе

Джафарова Бести Лейсан кызы – аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: mehdiyeva_69@mail.ru

Х.Г. Асадов, А.Дж. Алиева, Б.Л. Джафарова

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МУТНОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Статья посвящена разработке нового метода для измерения мутности воды. Метод основан на экстремальном свойстве скалярного многокритериального показателя в виде свертки двух парафазных критериев. Дано теоретическое обоснование метода и разработан алгоритм реализации. Приведена блок-схема практической установки для определения мутности по предлагаемому экстремальному методу.

Ключевые слова: мутность, питьевая вода, оптимизация, рассеяние, отражение.

H.G. Asadov, A.J. Aliyeva, B.L. Jafarova

A NEW METHOD OF MEASURING TURBIDITY DRINKING WATER

The article is devoted to the development of a new method for measuring water turbidity. The method is based on the extreme property of the scalar multi-criteria indicator in the form of a matching of two paraphase criteria. The theoretical justification of the method is given and an implementation algorithm is developed. A flowchart of the practical setting for determining turbidity according to the proposed extreme method is given.

Keywords: turbidity, drinking water, optimization, dispersion, reflection.

Проблема получения высококачественной питьевой воды является актуальной. Этим и объясняется широкий фронт работ по исследованию путей определения качества воды. Одним из важнейших показателей питьевой воды является ее мутность. Этим и объясняется тот факт, что в последние десять лет появились многочисленные публикации по измерению мутности воды (см., например, [1–5]). Согласно [2], мутность в основном характеризуется степенью поглощения и рассеяния света частицами разного размера, имеющимися в воде. Для измерения мутности воды используются следующие единицы:

- 1) единица измерения мутности по Джексону (JTU);

2) нефелометрическая единица измерения мутности воды по формазину (FNU);

3) единица измерения мутности по формазину с учетом ослабления сигнала (FAU);

4) нефелометрическая единица мутности (NTU).

Наиболее часто используется единица мутности NTU, определяемая как

$$NTU = a(TSS)^b, \quad (1)$$

где a , b – экспериментально определяемые коэффициенты, TSS – концентрация взвешенных частиц, мг/л.

Турбидиметры, измеряющие мутность воды, разделяются на две группы:

1. Абсорбциометры, измеряющие поглощение или ослабление света, прошедшего через толщу исследуемой воды.

2. Нефелометры, измеряющие рассеянный свет под углом 90° к направлению падающего света.

Вышеуказанные методы турбидиметрии проиллюстрированы на рис. 1.

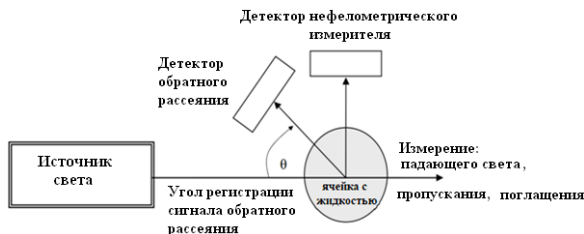


Рис. 1. Графическое представление методов турбидиметрии

Согласно [1], взаимодействие падающего света со взвешенными частицами в воде зависит от размеров, формы и состава этих частиц, а также длины волны излучения на входе турбидиметра. В общем случае интенсивность света на выходе турбидиметра определяется как [6–8]:

$$I_{out} = I_0 \exp[-(\alpha_a + \alpha_b)xc], \quad (2)$$

где: I_{out} – интенсивность на выходе турбидиметра; I_0 – интенсивность на входе турбидиметра; x – длина дистанции прохождения света через водную среду; c – концентрация исследуемой пробы воды; α_a – коэффициент абсорбции; α_b – коэффициент рассеяния.

Следует отметить что α_a и α_b зависят от длины волны. Так, согласно [9, 10]: α_a (470 нм) = 0,0130 М⁻¹; α_a (635 нм) = 0,3309 М⁻¹; α_b (470 нм) = 0,0027 М⁻¹; α_b (635 нм) = 0,0008 М⁻¹.

Из выражения (2) очевидно, что чем больше обратно рассеянный сигнал, тем меньше сигнал на выходе исследуемой среды. На основе этого очевидного положения предлагается экстремальный метод определения мутности водной среды.

Прежде всего проанализируем общепринятую модель (2). Выражение (2) запишем в следующем виде:

$$I_{out} = I_0 [e^{-\alpha_a \cdot xc}] \cdot [e^{-\alpha_b \cdot xc}] \quad (3)$$

Выражению (3) соответствует блок-схема, показанная на рис. 2. Формально выражение (3) может быть интерпретировано следующим образом: интенсивность света сначала подвергается ослаблению из-за абсорбции, затем из-за рассеяния. Однако поглощенная часть света не рассеивается.

Далее, (3) перепишем как

$$I_{out} = I_0 [e^{-\alpha_b \cdot xc}] \cdot [e^{-\alpha_a \cdot xc}]. \quad (4)$$

Это то же самое, что и (3). Уравнению (4) соответствует блок-схема, показанная на рис. 3.



Рис. 2. Блочное представление уравнения (3).



Рис. 3. Блочное представление уравнения (4)

Как видно из рис. 3, здесь нерассеянная часть I_0 не подвергается поглощению. В этом случае рассеянную часть светового сигнала I_0 определим как

$$I_{scat} = I_0 - e^{-\alpha_b \cdot xc}. \quad (5)$$

Следовательно, суммарный сигнал $I_{\Sigma_i} = I_{out} + I_{scat}$ определится как

$$I_{\Sigma_i} = I_0 - I_0 e^{-\alpha_b x} + I_0 [e^{-(\alpha_a + \alpha_b)xc}]. \quad (6)$$

Допустим, что к компонентам в (6) можно применить весовые коэффициенты β_1, β_2 , где $\beta_1 + \beta_2 = 1$.

Имеем

$$I_{\Sigma i} = \beta_1 [I_0 - I_0 e^{-\alpha_b x c}] + \beta_2 I_0 \cdot e^{-(\alpha_a + \alpha_b) x c}. \quad (7)$$

В первом приближении примем, что $\alpha_a = \alpha_b$. В этом случае из (7) получим

$$I_{\Sigma i} = \beta_1 I_0 - \beta_1 I_0 e^{-z} + \beta_2 I_0 e^{-2z}, \quad (8)$$

где $z = \alpha x c$.

Исследуем (8) на экстремум:

$$\frac{dI_{\Sigma i}}{dz} = -\beta_1 I_0 e^{-z} + 2\beta_2 I_0 e^{-2z}. \quad (9)$$

Из условия $\frac{dI_{\Sigma i}}{dz} = 0$ получим

$$e^{-z} = \frac{\beta_1}{2\beta_2}. \quad (10)$$

Из (10) находим

$$Z = \ln \frac{2\beta_2}{\beta_1} \quad (11)$$

или

$$\alpha x c = \ln \frac{2\beta_2}{\beta_1}. \quad (12)$$

Таким образом, при выполнении условия (12) выражение (8) достигает экстремума. Для определения типа экстремума вычислим вторую производную $I_{\Sigma i}$ по Z .

Имеем:

$$\frac{d^2 I_{\Sigma i}}{dz^2} = -\beta_1 I_0 e^{-z} + 4\beta_2 I_0 e^{-2z}.$$

Следовательно, при

$$\beta_1 < 4\beta_2 e^{-z}. \quad (13)$$

Выражение (8) достигает минимума, в противном случае максимума.

Таким образом, предлагаемый метод измерения концентрации водной пробы, а значит, и водного загрязнителя алгоритмически заключается в следующем:

1. Формируется сигнал (8) для i -го цикла, где заданы β_{1i} и β_{2i} .

2. Величина $I_{\Sigma i}$ определяется для триады значений z_i ; $i = \overline{1,3}$, где $z_1 = \kappa_0$; $z_2 = \kappa_0 + \Delta\kappa$; $z_3 = \kappa_0 + 2\Delta\kappa$; где $\Delta\kappa$ – некоторая фиксированная величина; κ_0 – искомая величина.

3. По выбранной триаде z проводятся измерения I_{Σ} . Определяется наличие экстремума. Если выявлен экстремум:

4. Определяется значение $\alpha\chi$ по выражению (12).

5. Проверяется условие (13) по характеру экстремума.

6. При известных c , x определяются показатели TSS и мутность по (1).

7. Если экстремум не обнаружен, осуществляется переход $j = i + 1$.

Блок-схема практической установки для определения мутности по предлагаемому экстремальному методу показана на рис. 4.

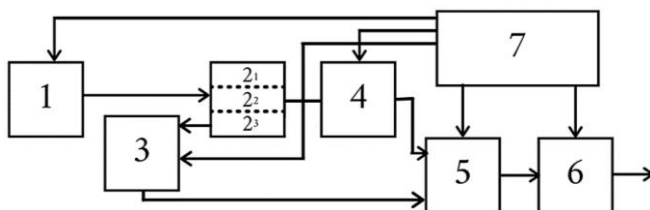


Рис. 4. Блок-схема измерительной установки

На рис. 4 цифрами указаны: 1 – источник света; 2 – кювета с тремя пробами воды; 3 – измеритель рассеянного назад света; 4 – измеритель ослабленного света; 5 – блок обнаружения экстремума в суммарном сигнале; 6 – формирователь значения; 7 – блок управления.

Блок-схема операционного алгоритма предлагаемого метода приведена на рис. 5.

Для проверки наличия экстремума сигнала на выходе блока 6 (рис. 4) проведем модельное исследование. Для этого воспользуемся выражением (8). В этом выражении примем обозначение $x = e^{-z}$. В этом случае выражение (8) можно переписать в следующем виде:

$$I_{\Sigma i} = \beta_1 I_0 - \beta_1 I_0 x + \beta_2 I_0 x^2. \quad (14)$$

С учетом $\beta_2 = 1 - \beta_1$ выражение (14) перепишем как

$$\gamma = \beta_1 (1 - x) + (1 - \beta_1) x^2, \quad (15)$$

где $\gamma = I_{\Sigma i} / I_0$.

Вычисленные значения γ для разных значений β_1 и x приведены в таблице.

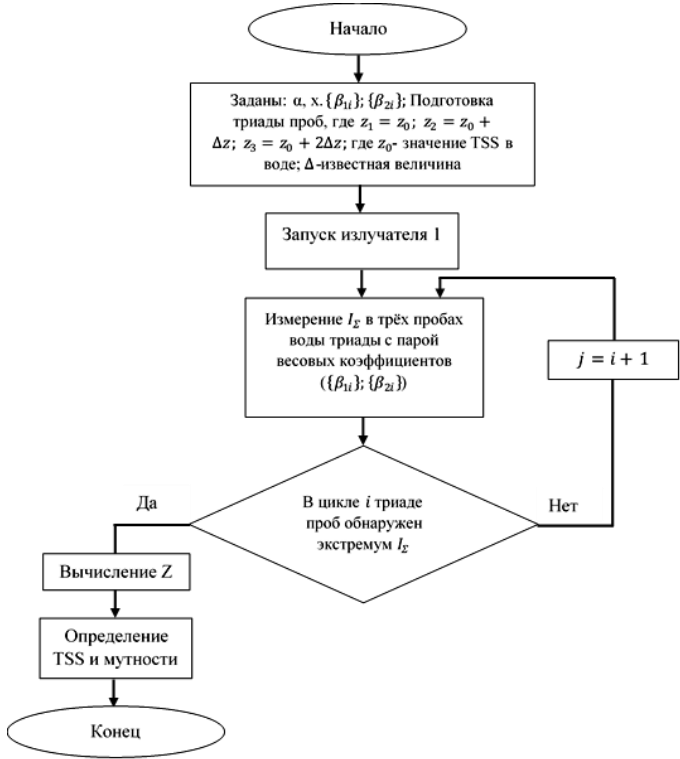


Рис. 5. Блок-схема операционного алгоритма предлагаемого метода

Вычисление значения γ для разных значений β_1 и x

x	γ	
	$\beta_1 = 0,1$	$\beta_2 = 0,2$
0	0,1	0,2
0,05	0,0972	0,1925
0,1	0,099	0,188
0,2	0,116	0,192
0,3	0,151	0,212

Как видно из данных, приведенных в таблице, минимум значений γ при увеличении значения β_1 смещается в сторону больших величин x . При этом условие (13) появления минимума полностью вы-

полняется как для $\beta_1 = 0,1$, так для случая $\beta_1 = 0,2$. Для $\beta_1 = 0,1$ имеем $0,1 < 4 \cdot 0,9 \cdot 0,05$; для случая $\beta_2 = 0,2$ имеем $0,2 < 4 \cdot 0,8 \cdot 0,1$.

Таким образом, применительно к задаче измерения мутности питьевой воды оптоэлектронным методом предложен двухкритериальный экстремальный метод измерения.

Предлагаемый метод предусматривает составление для исследуемой среды характерного показателя, обладающего экстремальным свойством. Указанный показатель имеет вид скалярной свертки двух противофазных критериев с устанавливаемыми весовыми коэффициентами. Процесс измерения мутности пробы воды предусматривает обнаружение экстремума значения скалярной свертки и вычисление искомой величины мутности при заданных величинах других показателей.

Библиографический список

1. Ahmad Fairuz Bin Omar and Mohd Zubir Bin MatJafri. Turbidimeter Design and Analysis: A Review on Optical Fiber Sensors for the Measurement of Water Turbidity // Sensors. – 2009. – No. 9(10). – P. 8311–8335. – URL: <https://doi.org/10.3390/s91008311> (дата обращения: 07.05.2021).
2. Yousef Abueejela, Abdalrhman Saleh Guinaum and Alhade A. Algitta. Measuring Turbidity of Water Based Photo Voltaic Cell and Laser Light // Jeeit transactions. – July 2020. – Vol. 1, no. 1.
3. A low-cost bench-top research device for turbidity measurement by radially distributed illumination intensity sensing at multiple wavelengths / Ben G.B. Kitchener, Simon D. Dixon, Kieren O. Howarth, Anthony J. Parsons, John Wainwright, Mark D. Bateman, James R. Cooper, Graham K. Hargrave, Edward J. Long, Caspar J.M. Hewett. HardwareX Pub Date : 2019-04-01. DOI: 10.1016/j.ohx.2019.e00052
4. Development of a New Method for Turbidity Measurement Using Two NIR Digital Cameras / Zhu Yuanyang, Cao Pingping, Liu Sheng, Zheng Ying, Huang Chaoqun // CS Omega. – 2020. – Vol. 5. – P. 5421–5428. – URL: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04488> (дата обращения: 07.05.2021).
5. Jarrod Trevathan, Wayne Read, Simon Schmidtke. Towards the Development of an Affordable and Practical Light Attenuation Turbidity Sensor for Remote Near Real-Time Aquatic Monitoring // Sensors. –

2020. – 20(7). – URL: <https://doi.org/10.3390/s20071993> (дата обращения: 07.05.2021).

6. Davies-Colley R.J., Smith D.G. Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A Review // J. Am. Water Resour. Assoc. – 2001. – 37. – P. 1085–1101.

7. Hoffman N., Preetham A.J. Rendering Outdoor Light Scattering in Real Time. – URL: <http://ati.amd.com/developer/dx9/ATI-LightScattering.pdf> (accessed on 09.15.2007).

8. Jenkins F.A.; White H.E. Fundamentals of Optics. McGraw-Hill: Tokyo, Japan, 1976. – P. 455–473.

9. Pope R.M., Fry E.S. Absorption Spectrum (380–700 nm) of Pure Water. II. Integrating Cavity Measurements // Appl. Opt. – 1997. – Vol. 36. – P. 8710–8723.

10. WET Labs. Scattering by Pure Water. – URL: <http://www.wetlabs.com/iopdescript/Table%201.pdf> (accessed on 09.20. 2008).

Сведения об авторах

Асадов Хикмет Гамид оглы – доктор технических наук, профессор Национального аэрокосмического агентства, Научно-исследовательский институт аэрокосмической информатики, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: asadzade@rambler.ru

Алиева Амида Джабраил кызы – кандидат технических наук, старший специалист по докторантуре и диссертантуре Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: amidec.b@gmail.com

Джафарова Бести Лейсан кызы – аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: mehdiyeva_69@mail.ru

Х.Г. Асадов, С.Н. Абдуллаева, А.Б. Асланова

ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, СНАБЖЕННЫХ СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ В РЕЖИМАХ ПОДЪЕМА И СПУСКА

Можно с уверенностью сказать, что вопросы установки солнечных батарей на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) являются перспективным направлением развития малой авиации. Развитие этого направления исследований привело к тому, что в настоящее время созданы БПЛА способные целый год летать в стратосфере с помощью солнечно-электрической установки при весе 75 кг. Указанный факт показывает актуальность дальнейших исследований по повышению эффективности функционирования БПЛА, снабженных солнечными панелями. В качестве основы для проведения вычислений солнечной энергетической установки и оптимизации всего долговременного летного цикла БПЛА использовано известное выражение, согласно которому широкополосная нормальная солнечная радиация находится в обратной зависимости от логарифма $PM_{2,5}$. Рассмотрены два варианта выбора траектории полета в фиксированном временном интервале. В первом приближении принято, что между текущей высотой полета h и $PM_{2,5}$ существует линейная инверсная зависимость, а между показателями текущего времени и синусом зенитного угла имеется прямая линейная связь. Далее введена на рассмотрение функция управления или временная функция траектории, интеграл которой нормирован постоянной величиной. Также сформирован интегральный целевой функционал, определяющий ту суммарную радиацию, которая поступает на вход солнечных батарей БПЛА и позволяет установить предполагаемый энергоресурс полета. На основании вышеуказанного ограничительного условия и целевого функционала составлена задача безусловной вариационной оптимизации. На основе решения задачи оптимизации рассмотрены две траектории полета, соответствующие рассматриваемым режимам. Определены оптимальные режимы полета с минимальным энергоресурсом и с оптимальной скоростью.

Ключевые слова: вариационная оптимизация, солнечная батарея, БПЛА, оптическая радиация, аэрозоль, энергоресурс.

H.G. Asadov, S.N. Abdullayeva, A.B. Aslanova

RESEARCH OF EFFECTIVENESS OF FUNCTIONING OF UAV EQUIPPED WITH SOLAR BATTERIES IN ASENDING AND DECENDING TRAJECTORIES

It can be surely stated that questions on installation of solar panels in unmanned vehicles is perspective direction of low aviation development. Development of this direction of researches lead to development of UAV capable to flight in stratosphere

during a year utilizing solar-electric installation having weight 75 kg and wingspan 25 m. Abovementioned facts proves actuality of carrying out of further researches to increase effectiveness of energy provision of UAV. The paper is devoted to research of effectiveness of functioning of UAV equipped with solar panels in ascending and descending trajectories. As a basis for carrying out of calculations of solar energetic installation and optimization of whole long flight cycle of UAV the known formula was used that is the normal solar radiation is in inverse dependence of logarithm of PM2.5. Two variants for choice of flight trajectory in fixed time interval are considered. As a first approximation it is assumed that there is a linear inverse dependence between h and PM2.5 but a direct linear dependence between current time and sinus of zenith angle. The control function or timely function of trajectory is suggested the integral of which is normalized by constant value. Also the integral type target functional is formed which determines the total radiation at the entry of solar batteries of UAV and allows to determine suggested energy resource of flight. At the basis of abovementioned limitation condition and target functional the task of non-conditional variation optimization is composed. On the basis of solution of optimization task two flight trajectories according to considered regimes are analyzed. The optimum flight regimes with minimum energy resources and optimum speed are defined.

Keywords: variation optimization; solar panel; UAV; optical radiation; aerosol; energy resource.

Вопросы установки солнечных батарей на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) важны для развития малой авиации.

Как отмечается в [1], первый полет БПЛА с солнечной энергоустановкой Sunrise 1 был осуществлен 4 ноября 1974 г. в Калифорнии (США). Размах крыла БПЛА был равен 9,75 м, вес 12 кг, высота полета мах 6100 м, мощность солнечной установки 600 Вт. Продолжительность полета при этом составляла всего 30 мин.

Дальнейшее развитие этого направления широкомасштабных исследований привело к тому, что в 2020 г. был создан БПЛА “PHASA-15”, способный целый год летать в стратосфере, с помощью солнечно-электрической установки [2] при весе 75 кг, размахе крыльев 25 м.

Согласно сообщению в [3], Китайский беспилотник CH-T4 с размахом крыла 45 м в 2020 г. провел 15 ч на высоте приблизительно 20 км. Однако еще в 2010-м г. Американский БПЛА Zephyr, оснащенный солнечной энергоустановкой при размахе крыла 22,5 м осуществил полет в стратосфере в течение 30 ч [4].

Аналогичные разработки также ведутся в Российской Федерации. Как сообщается в работе [5], разработаны эффективные инфракрасные лазерные диоды, предназначенные для лазерной заправки летательных аппаратов, снабженных солнечной энергоустановкой. В работе [6] сообщается о решении проблемы автоматизации проекти-

рования размещения и операции солнечных батарей и концентраторов на летательных аппаратах.

Согласно [7], специфика летно-технических характеристик БПЛА предусматривает возможность использования в них солнечных батарей, позволяющих осуществить полет без ограничения по времени. Как отмечается в [8], особенно перспективным является групповое применение БПЛА, оснащенных фотоэлектрической установкой для решения задач экологического мониторинга. Основу такой силовой установки составляют фотометрические преобразователи (ФЭП), наклеенные на верхнюю обшивку с токоведущими шинами и контактами.

Согласно сообщению [9], в НПО им. С.А. Лавочкина в 2013 г. создана БПЛА с солнечной энергоустановкой, со взлетной массой 150 кг, высота полета 10 км, размах крыла 15 м, продолжительность полета 72 ч. Дальнейшее усовершенствование этого аппарата позволило увеличить полезную нагрузку с 1 до 35 кг, а продолжительность полета до 100 дней. В работе [10] рассмотрены задачи усовершенствования технологии установки солнечных батарей на БПЛА и проанализирована связь между потерей энергии на тепловыделение и величиной контактного сопротивления. В работе [11] сделана попытка оптимизации использования дополнительных солнечных панелей для питания узлов БПЛА. Общие технологические вопросы создания солнечных батарей и установки их на летательных аппаратах рассмотрены в работах [12, 13].

Согласно заключению авторов работы [14], по состоянию на 2015 г. лучшим из БПЛА, оснащенных солнечной энергоустановкой считался Solar Impulse, изготовленный в Швейцарии, имеющий вес 2000 кг, размах крыла 63,4 м, развивающий скорость 70 км/ч.

Таким образом, установление солнечных панелей на различных объектах и сооружениях приобретает глобальный масштаб, и это выдвигает на первый план необходимость исследования влияния атмосферы на солнечную оптическую радиацию, поступающую на вход солнечных батарей. Для расчета влияния атмосферы часто используется параметрическая модель солнечного излучения. Как отмечается в [15, 16], одним из основных функциональных показателей солнечных панелей является их угол подъема γ . Диффузная и прямая солнечные радиации G_d и G_b вычисляются соответственно следующими формулами:

$$G_b = G_{SC} \bar{\epsilon} \tau_b \sin \gamma, \quad G_d = G_{SC} \bar{\epsilon} \cdot \tau_d \sin \gamma,$$

где $G_{SC} = 1366,1$ Вт/м² – солнечная постоянная; ε – корректирующий коэффициент, учитывающий расстояние Земля – Солнце, вычисляемое по уравнению Спенсера; $\overline{\tau_b}, \overline{\tau_d}$ – усредненные показатели пропускания атмосферы применительно к прямой диффузной солнечной радиации.

Глобальная солнечная радиация G вычисляется в качестве суммы прямой и диффузной компоненты.

$$G = G_b + G_d.$$

Вкратце рассмотрим теоретические основы вычисления показателей атмосферы, играющих важную роль при вычислении поступающей на солнечную панель радиации [16].

Коэффициент пропускания прямого излучения τ_b вычисляется по формуле

$$\overline{\tau_b} = \overline{\tau_{O_3}} \cdot \overline{\tau_{NO_2}} \cdot \overline{\tau_W} \cdot \overline{\tau_g} \cdot \overline{\tau_r} \cdot \overline{\tau_a},$$

где $\overline{\tau_{O_3}} \cdot \overline{\tau_{NO_2}} \cdot \overline{\tau_W} \cdot \overline{\tau_g} \cdot \overline{\tau_r} \cdot \overline{\tau_a}$ – соответственно коэффициент пропускания озона, двуокиси азота, водяных паров, малых газов, релеевского рассеяния и аэрозольного ослабления.

Диффузное пропускание $\overline{\tau_d}$ определяется в качестве суммы двух компонентов, соответствующих процессам релеевского рассеяния ($\overline{\tau_{dR}}$) и аэрозольного рассеяния ($\overline{\tau_{da}}$).

$$\overline{\tau_d} = \overline{\tau_{d,R}} + \overline{\tau_{d,a}} = \frac{\overline{\chi} \cdot \overline{\tau_{d,O_3}} \cdot \overline{\tau_{NO_2}} \cdot \overline{\tau_W} \cdot \overline{\tau_g} \cdot \overline{\tau_{da}}}{\overline{\chi} \cdot \overline{\tau_{d,O_3}} \cdot \overline{\tau_{NO_2}} \cdot \overline{\tau_W} \cdot \overline{\tau_g} \cdot \overline{\tau_{da}} + (1 - \overline{\tau_R})} + \overline{\tau_{da}} (1 - \overline{\tau_{a,s}})$$

где χ_R и χ_a – фракции рассеянной радиации, передаваемой в направлении вниз; τ_{d,O_3} – эффективное пропускание озона применительно к рассеянной радиации в направлении вниз; τ_{da} – пропускание поглощения аэрозоля; τ_{as} – пропускание аэрозольного рассеяния.

Для расчета энергетических показателей солнечных панелей, установленных на различных объектах, в том числе на борту БПЛА, известный закон Бугера – Ламберта – Бера не может быть использован из-за монохроматичности его физической сути. Взамен известной

формулы данного закона используются аппроксимационные формулы, где фигурируют широкополосные физические параметры. Например, согласно [17], можно рассмотреть такой показатель, как широкополосный коэффициент ослабления прямой нормальной радиации между выбранными произвольно в атмосфере верхней точкой B и нижней точкой A в виде

$$\frac{DNI_B}{DNI_A} = \exp(-\beta_{ext} \cdot x),$$

где DNI_B , DNI_A – прямая нормальная радиация, соответственно в точках B и A ; x – расстояние между этими точками; β_{ext} – широкополосный коэффициент ослабления.

При этом такой широко используемый в узкоспектральных атмосферных измерениях показатель, как коэффициент аэрозольной мутности атмосферы Ангстрема, может быть определен согласно [18] следующей формулой, содержащей широкополосные показатели

$$\beta_L = \frac{1}{m_a D} \cdot \ln\left(\frac{C}{A-B}\right),$$

где A , D , C , B – коэффициенты, вычисляемые по аналитическим формулам, приведенным в [18].

Как нам представляется, для проведения вычислений солнечной энергетической установки и оптимизации всего долговременного (несколько часов) летного цикла БПЛА наиболее целесообразным является выражение, приведенное в [19]

$$R_{SN} = -118,3 \cdot \ln(PM_{2,5}) + 1003,6, \quad (1)$$

где R_{SN} – широкополосная нормальная солнечная радиация $R_{SN} = R_S / \sin \theta$ (8); R_S – текущая измеренная величина; θ – зенитный угол; $PM_{2,5}$ – оптическая толщина наиболее распространенной аэрозольной фракции с диаметром частиц от 1 до 2,5 мкм.

Что касается современных методов и средств установки солнечных панелей на БПЛА, изложенных в [20–22], то, согласно [20], требуемая мощность электропитания в беспилотных аппаратах имеет характерную минимальную точку при некоторой величине скорости полета, что отображено на рис. 1.

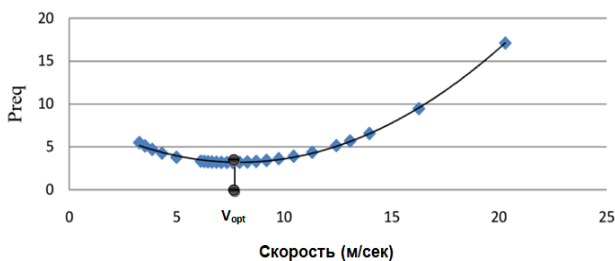


Рис. 1. График зависимости требуемой мощности энергоснабжения БПЛА от скорости его полета: P_{req} – требуемая мощность; V_{opt} – оптимальная величина скорости полета

Появление такого минимума объясняется особенностями аэродинамики полета. При этом, как это показано в [22], более 95 % потребляемой энергии попадает на долю двигателя БПЛА. Рассмотрим предлагаемый метод оптимизации временной высотной траектории полета с учетом вышеизложенных физических особенностей взаимосвязи основных режимных показателей БПЛА.

Рассмотрим два режима временной высотной траектории полета, показанные на рис. 2.

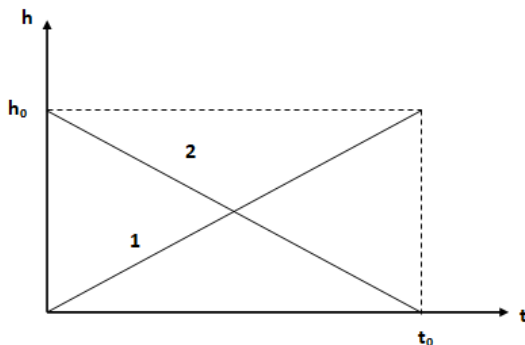


Рис. 2. Вариант выбора траектории полета во временном интервале $0 \div t_0$. Цифрами указаны: 1 – траектория подъема; 2 – траектория спуска; h – высота полета; t – время полета; h_0 – максимальная высота полета; t_0 – максимальная длительность полета

В первом приближении примем, что между показателями h и $PM_{2,5}$ существует инверсная зависимость, т.е.

$$PM_{2,5} = k_1(h_0 - h); k_1 = \text{const.} \quad (2)$$

Также в первом приближении можно принять, что между показателями t и $\sin\theta$ имеется линейная связь

$$\sin\theta = k_2 t; \quad k_2 = \text{const.} \quad (3)$$

С учетом выражений (1)–(3) получим

$$R_S = -118,3 \cdot \ln[k_1(h_0 - h)] \cdot k_2 t + 1003,6 \cdot k_3 t. \quad (4)$$

Введем на рассмотрение функцию управления, или временную функцию, траектории

$$h = h(t), \quad (5)$$

графики которой отображены на рис. 2.

Как видно из этих графиков, имеет местно следующее условие нормировки

$$\int_0^{t_0} h(t) dt = C; \quad C = \text{const.} \quad (6)$$

Также рассмотрим интегральный показатель

$$R_{S.\text{ин}} = - \int_0^{t_0} [118,3 \cdot \ln[k_1(h_0 - h)] k_2 t + 1003,6 k_2 t] dt. \quad (7)$$

Заметим, что нововведенный показатель (7) определяет ту суммарную радиацию, которая поступает на вход солнечных батарей БПЛА и позволяет установить предполагаемый энергоресурс полета.

С учетом выражений (5)–(7) сформируем следующий целевой функционал F безусловной вариационной оптимизации:

$$F = - \int_0^{t_0} [118,3 \cdot \ln[k_1(h_0 - h(t))] k_2 t + 1003,6 k_2 t] dt + \\ + \lambda \left[\int_0^{t_0} h(t) dt - C \right], \quad (8)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Согласно условиям уравнения Эйлера – Лагранжа, решение оптимизационной задачи (8) должно удовлетворять условию

$$\frac{\partial \{-[118,3 \ln[k_1(h_0 - h(t))] k_2 t + 1003,6 k_2 t + \lambda \cdot h(t)]\}}{\partial h(t)} \quad (9)$$

Из выражения (9) получаем

$$\frac{118,3 \cdot k_1 \cdot k_2 t}{k_1 [h_0 - h(t)]} + \lambda = 0. \quad (10)$$

Из (10) находим

$$h(t) = h_0 + \frac{118,3 \cdot k_2 t}{\lambda}. \quad (11)$$

С учетом (6) и (11) получим

$$\int_0^{t_0} \left[h_0 + \frac{118,3 \cdot k_2 t}{\lambda} \right] dt = C. \quad (12)$$

Из (12) находим

$$\lambda = \frac{118,3 k_2 t_0^2}{2(C - h_0 t_0)}. \quad (13)$$

С учетом (11) и (13) получим

$$h(t) = h_0 + \frac{t \cdot 2(C - h_0 t_0)}{t_0^2} = \frac{h_0 + 2t(C - h_0 t_0)}{t_0^2}. \quad (14)$$

Таким образом, при $h(t) = h_0 + \frac{2t(C - h_0 t_0)}{t_0^2}$ функционал F достиг

ает экстремума.

Для определения типа экстремума вычислим вторую производную (10) по $h(t)$. Имеем

$$\frac{\partial \left\{ \frac{118,3 \cdot k_1 \cdot k_2 t}{k_1 [h_0 - h(t)]} \right\}}{dh(t)} = \frac{k_1 \cdot 118,3 \cdot k_1 k_2 t}{k_1^2 [h_0 - h(t)]^2}. \quad (15)$$

Таким образом, вторая производная (10) по $h(t)$ всегда положительна, т.е. при решении (14) функционал F достигает минимума.

Логично предположить, что при других решениях, например при траектории 2 на рис. 2, получим величину F , превышающую этот минимум.

Вышеизложенное позволяет нам выработать следующие рекомендации:

1. Так как при выборе траектории 1 на рис. 2, соответствующей решению (14), вырабатывается минимальный энергоресурс, то для выполнения миссии БПЛА следует выбрать скорость полета, где требуемый ресурс минимален.

2. Так как при выборе траектории 2, показанной на рис. 2, не соответствующей решению (14), вырабатывается энергоресурс, превышающий вышеуказанный минимум, то решается дилемма:

2.1. Если требуется детальный анализ исследуемого поля с помощью сенсоров БПЛА, то выбирается скорость полета меньше v_{opt} .

2.2. Если требуется высокоскоростное прохождение трассы, то следует выбрать скорость полета, превышающую v_{opt} .

Библиографический список

1. Энергосистемы, системы на солнечных батареях и других источниках энергии. Применение солнечных панелей в авиации. – URL: <https://ust.su/solar/media/section-inner10/7671> (дата обращения 10.09.2020).

2. Беспилотник на солнечных батареях PHASA первый полет. – URL: <https://habr.com/ru/news/t/489066/> (дата обращения 10.09.2020).

3. Китай испытал высотный беспилотник на солнечных батареях. – URL: <https://nplus1.ru/news/2017/06/15/ch-rainbow> (дата обращения 10.09.2020).

4. Zephyr solar plane flies 7 days non-stop // Science & Environment. – URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-10664362> (дата обращения 10.09.2020).

5. Карпович Э.В. Обеспечение энергией с помощью солнечных батарей и лазеров // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. Спецвыпуск. – 2016. – № 2. – URL: <http://ejournal.omgau.ru/index/php/spetsvypusk-2/31-spets02/415-00164> (дата обращения 10.09.2020).

6. Куи Мин Хан, Маркин Л.В. Расчет взаимного затенения солнечных антенн космических летательных аппаратов // Труды МАИ. – 2017. – Вып. 93. – URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения 10.09.2020).

7. Макаренко С.И., Тимошенко А.В., Васильченко А.С. Анализ средств и способ противодействия беспилотным летательным аппа-

ратам. Ч. 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 1. – С. 109–146. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10105

8. Воронков Ю.С. Авиационная система экологического мониторинга (АСЭМ) // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 11. – С. 7–11.

9. НПО им. Лавочкина представило проект БЛА на солнечной энергии. – URL: https://missiles2go.ru/2016/09/09/la-251_la-252_pro-im-lavochkina (дата обращения 10.09.2020).

10. Гришин А.А., Струговец А.Г. Оценка конструкторских решений в части потерь на токосъемных устройствах при передаче электрической энергии от солнечных батарей // Труды МАИ. – 2017. – № 97. – С. 6.

11. Джахидзаде Ш.Н. Вопросы оптимизации использования дополнительных солнечных панелей для питания узлов беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. – 2019. – Вып. 108. – С. 17. – URL: <https://doi.org/10.34759/trd-2019-108-17> (дата обращения 10.09.2020).

12. Хмельницкий Я.А., Салина М.С., Катаев Ю.П. Динамический расчет солнечных батарей космических аппаратов // Вестник МАИ. – 2018. – Т. 25, № 2. – С. 52–60.

13. Геращенко А.Н., Махров В.П. На пути к эре электрической авиации // Вестник МАИ. – 2015. – Т. 22, № 2. – С. 178–187.

14. Никитевич Н.В., Ромушкин А.Ю., Лукасов В.В. Применение солнечных батарей в авиации // Решетневские чтения. – 2015. – С. 417–428.

15. Jacobson M.Z., Jadhav V. World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels// Solar Energy. 2018. Vol. 169.pp. 55-66.

16. Influence of aerosols pollution on the amount of collectable solar energy / D. Calinoiu, M. Paulescu, I. Ionel, N. Stefu, N. Pop, R. Boata, A. Pacurar, P. Gravila, E. Paulescu, G. Tordai-Trif // Energy Conversion and management. – 2013. – Vol. 70. – P. 76–82.

17. Atmospheric transmittance model validation for CSP tower plants / N. Hanrieder, A. Ghennioiu, A.A. Merrouni, S. Wibert, F. Wiesinger, M. Sengupta, L. Zarzalejo, A. Schade // Sensors. – 2015, no. 15. – P. 4072–4096.

18. Determination of Angstrom turbidity coefficient from direct total solar irradiance measurements / A. Louche, M. Maurel, G. Simonnot, G. Peri, M. Iqbal // *Solar Energy*. – 1987. – Vol. 38. – P. 89–96.
19. Quantification of the impact of aerosol on broadband solar radiation in North China / B. Hu, X. Zhao, H. Liu, Z. Liu, T. Song, Y. Wang, L. Tang, X. Xia, G. Tang, D. Ji, T. Wen, L. Wang, Y. Sun, J. Xin // *Scientific Reports*. – 21 Mar 2017. – № 7. – P. 4485 DOI: 10.1038/srep44851 PMID: 28322248 PMCID: PMC5359593
20. Torabi H.B., Sadi M., Varjani A.Y. Solar power for experimental unmanned aerial vehicle (UAV); design and fabrication. Published // 2nd Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference. – 2011.
21. Saleem M., Gopi E., Ramesh K.K. Fabrication of solar energy UAV // *International Journal of Ambient Energy*. – 2018. DOI:10.1080/01430750.2018.1443499
22. Malaver A., Motta N., Corke P., Gonzalez F. Development and integration of a solar powered unmanned aerial vehicle and a wireless sensor network to monitor greenhouse gases // *Sensors*. – 2015. – Vol. 15. – P. 4072–4096. DOI:10.3390/s150204072

Сведения об авторах

Асадов Хикмет Гамид оглы – доктор технических наук, профессор Национального аэрокосмического агентства, Научно-исследовательский институт аэрокосмической информатики, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: asadzade@rambler.ru

Абдуллаева Севиндж Новруз кызы – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерное приборостроение» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности (АГУНП).

Асланова Айтен Баба кызы – старший научный сотрудник Института космических исследований природных ресурсов (ИКИПР), аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: aslanova.ayten@hotmail.com

Д.К. Корнилицин, Р.Ю. Дадиев, А.Г. Шумихин

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ОСТАТОЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ КСИ ПОСЛЕ СТАДИИ СУШКИ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ НА КАЛИЙНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассматривается задача оперативного измерения остаточной влажности КСИ после стадии сушки на калийном предприятии. Разработаны модели виртуального анализатора остаточной влажности на основе методов множественной линейной регрессии и искусственных нейронных сетей. Модели виртуального анализатора реализованы в системе математических вычислений MatLab. На основе исторических данных реального процесса оценено качество их работы. Для реализации виртуального анализатора остаточной влажности КСИ предлагается использовать модель множественной регрессии.

Ключевые слова: виртуальный анализатор, остаточная влажность, хлористый калий, сушка, кипящий слой, метод множественной линейной регрессии, искусственные нейронные сети.

D.K. Kornilitsin, R.Yu. Dadiyev, A.G. Shumikhin

THE MODELLING OF THE SOFT SENSOR OF RESIDUAL MOISTURE KCl AFTER THE STAGE OF DRYING IN A FLUIDIZED BED AT A POTASH PLANT

The problem of operational measurement of the residual moisture of KCl after the drying stage at a potash plant is considered. The models of the soft sensor of residual moisture based on the methods of multiple linear regression and artificial neural networks are developed. The soft sensor models are developed using the MATLAB tool. Based on the historical data of the real process, the quality of the models is evaluated. To implement the soft sensor of residual moisture KCl, it is proposed to use a multiple regression model.

Keywords: soft sensor, residual moisture, potassium chloride, drying, fluidized bed, multiple linear regression method, artificial neural networks.

Способ сушки в кипящем слое (КС) является одним из прогрессивных методов сушки сыпучих материалов. Кипящий слой представляет собой горизонтальный слой частиц, через который пропускается оживающий агент (воздух или газ). Увеличенная за счет кипения площадь контакта между оживающим агентом и продуктом сокращает время процесса сушки до нескольких минут.

На рис. 1 представлена упрощенная схема процесса сушки в кипящем слое.

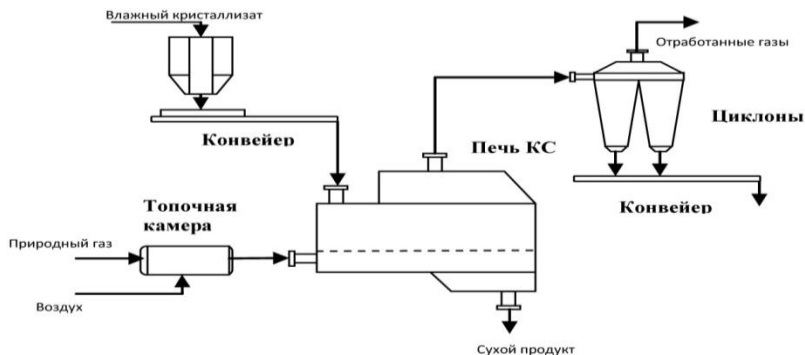


Рис. 1. Схема процесса сушки в кипящем слое

Процесс сушки хлористого калия в печи КС на калийном предприятии заключается в удалении влаги из влажного материала, находящегося в псевдооживленном состоянии, путем ее испарения и отвода образующихся паров.

Инструментальное поточное измерение содержания влаги в высушенном хлориде калия затруднено вследствие сложности измерения влагосодержания в диапазоне от 0 до 1 % масс.

Задача мониторинга влагосодержания KCl на производстве решается с помощью лабораторного анализа отбираемых проб. Однако такой способ занимает продолжительное время и не способен обеспечить измерения в соответствии с динамикой технологического процесса.

Виртуальный анализатор (ВА) представляет собой программно-алгоритмический комплекс, реализующий математическую модель связи показателя качества технологического процесса с текущими значениями измеряемых параметров. Основным назначением виртуальных анализаторов является повышение уровня информационно-аналитического обеспечения технологического персонала и создание условий для оптимального управления как отдельными технологическими процессами, так и всем технологическим циклом производства [1].

Здесь и далее модель связи показателя качества технологического процесса с текущими значениями измеряемых параметров является ядром ВА и называется моделью ВА.

Известно множество реализаций ВА в нефтеперерабатывающих производствах [2–4], а также в производстве минеральных удобрений [5].

В настоящее время для реализации ВА применяется широкий спектр как традиционных алгоритмов и методов анализа данных в теории управления, так и относительно авангардных. Для разработки моделей ВА остаточной влажности KCl после стадии сушки в кипящем слое в представленной работе используются методы множественной линейной регрессии и искусственных нейронных сетей.

На основании корреляционного анализа трендов технологических параметров и учета гидродинамики процесса сушки в кипящем слое сформирован список из 10 параметров (1), наиболее полно описывающих ключевые взаимосвязи формирования значения остаточной влажности хлористого калия на выходе аппарата. Вектор значений остаточной влажности получен с помощью зависимости остаточной влажности от температуры слоя, приведенной в работе [6].

Перед обучением моделей ВА исходная выборка исторических данных о значениях технологических параметров процесса за период 48 ч с дискретностью 5 с поделена на подвыборки обучения и валидации с отношением объема 70/30 %.

На основе существующего опыта решения задач разработки ВА показателей качества технологических процессов [7, 8] в представленной работе для оценки моделей ВА используется критерий Фишера и среднеквадратическая ошибка аппроксимации (RMSE).

В качестве инструмента для реализации моделей ВА использована система математических вычислений MatLab.

При обучении регрессионной модели ВА использован алгоритм, из [9], реализующий множественную линейную регрессию. В результате обучения модели получено уравнение регрессии:

$$\begin{aligned} Y = & 0,689 - 1,41 \cdot 10^{-5} x_1 + 0,0015x_2 - 1,01 \cdot 10^{-5} x_3 - 0,0006x_4 + \\ & + 1,63 \cdot 10^{-5} x_5 - 0,0032x_6 - 0,0005x_7 - 1,77 \cdot 10^{-5} x_8 + \\ & + 5,94 \cdot 10^{-8} x_9 + 0,0004x_{10}, \end{aligned} \quad (1)$$

где Y – измеренное значение остаточной влажности KCl; 0,689 – свободный член; x_1 – расход кристаллизата; x_2 – влажность кристаллизата на входе печи КС; x_3 – расход природного газа на топку; x_4 – давление верха печи; x_5 – температура под решеткой; x_6 – температура отходящего топочного газа; x_7 – температура в кипящем слое в рай-

оне выгрузки; x_8 – температура в кипящем слое в точке загрузки; x_9 – расход воздуха на топку; x_{10} – давление под решеткой.

Результаты работы регрессионной модели на основе данных обучения и валидации представлены на рис. 2. Красной штриховой линией указан выход регрессионной модели ВА, синим – вектор измеренных значений остаточной влажности.



Рис. 2. Результаты работы регрессионной модели ВА

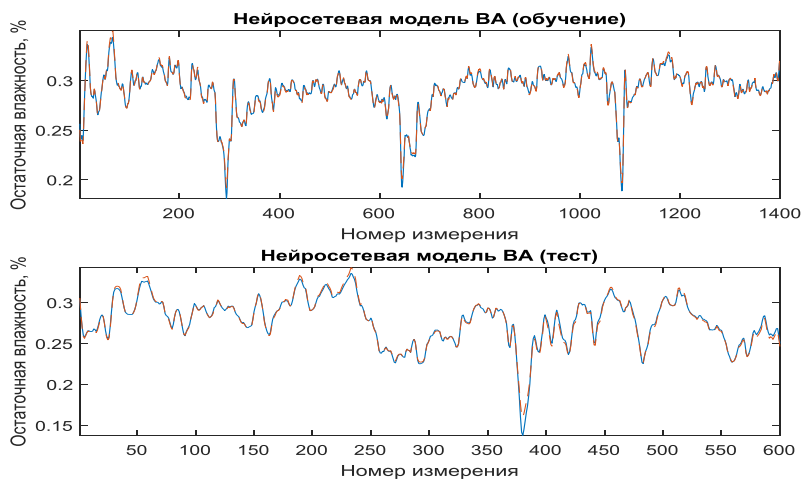


Рис. 3. Результаты работы нейросетевой модели ВА

На основе существующего опыта решения задач виртуального измерения показателей качества в работах [2, 9] для реализации нейросетевой модели ВА влажности КСІ использован тип многослойной нейронной сети прямого распространения.

С помощью метода перебора обнаружено, что лучшее качество обеспечивает структура сети их двух скрытых слоев с десятью нейронами в первом и одним нейроном во втором.

В качестве функции обучения использован метод наименьших квадратов (MSE).

Результаты работы нейросетевой модели на основе данных обучения и валидации представлены на рис. 3.

Красной штриховой линией указан выход нейросетевой модели ВА, синим – вектор образцовых значений остаточной влажности.

Показатели качества работы регрессионной и нейросетевой моделей ВА приведены в таблице.

Показатели качества работы моделей ВА остаточной влажности КСІ

Показатель	Регрессия		ИНС	
	обучение	тест	обучение	тест
Критерий Фишера	238,8521	74,4657	240,5717	108,0540
Среднеквадратичная ошибка аппроксимации (RMSE)	0,0014	0,0033	0,0014	0,0028

Заключение. С помощью инструментов MatLab разработаны модели виртуального анализатора остаточной влажности КСІ после аппарата КС.

В результате анализа показателей качества разработанных моделей ВА было определено, что оба метода обеспечивают достаточную для практического применения точность расчета остаточной влажности КСІ после стадии сушки в кипящем слое.

Для выполнения функции мониторинга остаточной влажности предлагается использовать регрессионную модель, что требует меньших вычислительных затрат по сравнению с нейросетевой моделью в составе ВА и обеспечивает требуемую точность.

Библиографический список

1. Опыт разработки системы виртуального анализа показателей качества продуктов установок каталитического риформинга бензино-

вых фракций и системы их подстройки в режиме реального времени / А.Г. Шумихин, М.П. Зорин, А.М. Немтин, В.Г. Плехов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2017. – № 2. – С. 45–62.

2. Гурьева Е.М., Ибатуллин А.А. Виртуальные анализаторы качества в нефтепереработке // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии – 2016: материалы VI Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых, г. Омск, 17 мая 2016 г. – Омск: Омский гос. техн. ун-т, 2016. – С. 181–186.

3. Александров И.М. Построение виртуального датчика на примере датчика концентрации этан-этиленовой колонны // Вестник АГТА. – 2011. – № 5. – С. 45–51.

4. Системы управления качеством производства минеральных удобрений на основе виртуальных анализаторов / Н.А. Туманов, Д.Н. Туманов, В.М. Чадаев, Н.Н. Бахтадзе // Автоматизация в промышленности. – 2003. – № 8. – С. 33–35.

5. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобию. дис. ... канд. тех. наук: 05.13.18: защищена 03.04.2012: утв. 28.04.2012 / Чучуева Ирина Александровна. – М.: Московский гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана, 2012.

6. Дадиев Р.Ю., Шумихин А.Г., Корнилицин Д.К. Виртуальный анализатор влажности KCL на основе аналитической модели сушки в печи с кипящим слоем // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2020. – № 3.

7. Рылов М.А. Информационная система контроля качества продукции на установке каталитического риформинга бензина: дис. ... канд. тех. наук / Рылов Михаил Андреевич. – 2015.

8. Ткачев Н.Н. Статистические методы в математическом моделировании и научных исследованиях: учеб. пособие / КГТУ. – Красноярск, 1996.

9. Горбачевская Е.Н. Классификация нейронных сетей // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2012. – № 2(19).

Сведения об авторах

Корнилицин Дмитрий Константинович – аспирант кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kornilitsin.dima@mail.ru

Дадиев Роман Юрьевич – руководитель направления «Цифровое производство» ООО «Спутник-2», г. Пермь, e-mail: roman.dadiyev@sputnic2.ru

Шумихин Александр Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

Е.М. Самойлова, Р.Т. Хамитов

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ НА КОНТРОЛЛЕРЕ SIEMENS LOGO

Рассматривается автоматизация системы управления вентиляции с использованием контроллера Siemens LOGO. Микроклимат в промышленных помещениях влияет на работоспособность и здоровье рабочих. Поэтому разработка автоматизированной системы управления вентиляции очень важна для предприятий с разветвлённой и протяжённой сетью воздуховодов. При создании системы необходимо придерживаться трехуровневой структуры АСУ ТП. В статье более подробно описаны преимущества использования контроллера при разработке системы управления вентиляции. Также описана работа программного комплекса Logo Soft Comfort v8.0, с помощью которого производится разработка программы для микроконтроллера LOGO!8.

Ключевые слова: автоматизация системы управления, вентиляция, контроллер Siemens LOGO, Logo Soft Comfort.

E.M. Samoilova, R.T. Khamitov

AUTOMATION OF THE VENTILATION CONTROL SYSTEM ON THE SIEMENS LOGO CONTROLLER

This article discusses the automation of a ventilation control system using the Siemens LOGO controller. The microclimate in industrial premises affects the performance and health of workers. Therefore, the development of an automated ventilation control system is very important for enterprises with an extensive and extended network of air ducts. When creating a system, it is necessary to adhere to the three-level structure of the APCS. The article describes in more detail the advantages of using a controller when developing a ventilation control system. Also described is the operation of the software package Logo Soft Comfort v8.0, which is used to develop a program for the LOGO! 8 microcontroller.

Keywords: control system automation, ventilation, Siemens LOGO controller, Logo Soft Comfort.

Микроклимат помещения значительно влияет на здоровье и работоспособность человека. Сотрудники работают многосменные, обедают и отдыхают в одном помещении. При длительном воздействии неблагоприятного микроклимата быстро снижается производительность труда и ухудшается состояние здоровья, что приводит к различным последствиям и заболеваниям. Применение автоматизи-

рованной системы управления вентиляцией обеспечит надлежащие условия движения воздуха в помещениях, что позволит повысить качество условий труда, сократить расходы на электроэнергию и обслуживающий персонал [1].

Основным документом, который регламентирует требования к микроклимату производственных помещений, является СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». В данном материале прописаны гигиенические требования к температуре, скорости движения и влажности воздуха. Представленные параметры зависят от энергозатрат рабочих и определенного периода года. С оптимальными показателями микроклимата на рабочих местах можно ознакомиться в таблице [2, 3].

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22–24	21–25	60–40	0,1
	Iб (140–174)	21–23	20–24	60–40	0,1
	IIa (175–232)	19–21	18–22	60–40	0,2
	IIб (233–290)	17–19	16–20	60–40	0,2
	III (более 290)	16–18	15–19	60–40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23–25	22–26	60–40	0,1
	Iб (140–174)	22–24	21–25	60–40	0,1
	IIa (175–232)	20–22	19–23	60–40	0,2
	IIб (233–290)	19–21	18–22	60–40	0,2
	III (более 290)	1–20	17–21	60–40	0,3

Автоматизация вентиляции предполагает внедрение комплекса средств и методов для управления техническим процессом без участия человека, оставляя за ним только возможность принимать наиболее важные решения. Автоматизированная система управления воздухообменом актуальна для крупных производственных предприятий с разветвлённой и протяжённой сетью воздуховодов.

Преимуществом автоматизированной системы является то, что наблюдение и контроль за технологическим процессом осуществляется в режиме реального времени. При этом удалённость пункта управления от объекта не столь важна, так как с помощью специализированных аппаратных средств появляется возможность управлять за микроклиматом в помещении с помощью датчиков и исполнительных механизмов.

Надёжность и экономичность использования данной системы обусловлена возможностью вовремя реагировать на все сбои и неполадки работы вентиляции. Своевременное обнаружение перепадов напряжения, засорения фильтров или поломки оборудования обеспечивают долговечность системы и в дальнейшем экономию на замене полного агрегата в сторону ремонта деталей.

Для построения автоматизированной системы управления необходимо придерживаться трехуровневой структуры АСУ ТП:

1. На нижнем уровне структуры располагаются датчики и исполнительные механизмы системы.

2. Программируемые логические контроллеры, различные регуляторы и реле находятся на среднем уровне АСУ.

3. На верхнем уровне происходит контроль и мониторинг технологических процессов, с помощью человеко-машинного интерфейса (HMI – Human Machine Interface) или SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [4].

Уделим наибольшее внимание среднему уровню, а именно подбору контроллера для автоматизации системы вентиляции производственных помещений. Для управления воздухообменными процессами в помещении существуют множество специализированных контроллеров, среди самых популярных можно выделить фирмы ОВЕН, Zentec, Segnetics и Siemens. У каждого есть свои достоинства и недостатки, но остановимся на последнем и опишем подробнее характеристики ПЛК Siemens серии LOGO.

В данную серию входит не только программируемый логический контроллер, но и логические модули: расширения ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, блоки питания с различным напряжением, контакторы и коммуникационный модуль для обмена данными через мобильные сети GSM/GPRS и LTE.

Микроконтроллеры LOGO с задачами автоматизации вентиляции справляются успешно на протяжении многих лет. С помощью модулей расширения появляется возможность выполнить адаптацию почти к любой решаемой задаче. В современных версиях LOGO 0BA7 и 0BA8 добавили возможность обмена данными между логическими модулями с помощью локальной сети Ethernet на скорости 100 Мбит/с [5].

Программирование системы управления с использованием ПЛК Siemens LOGO осуществляется через специализированное программ-

ное обеспечение Logo! Soft Comfort v8.0. Программный комплекс этой версии поддерживает только три последние модели серии (0BA6, 0BA7 и 0BA8) [5]. Есть возможность создания коммутационной программы в виде функциональной (FBD) или лестничной диаграммы (LD).

Интерфейс программного обеспечения визуально и функционально удобный и понятный, что дает возможность быстро освоиться и разобраться. Эта среда позволяет создавать программы с помощью способа drag-and-drop (бери-и-брось), т.е. путём захвата нужного блока из интерфейса и перемещения его на окно диаграммы. Соединение функциональных блоков происходит с помощью специального инструмента, тем самым исключая их случайное перемещение по экрану.

Одной из главных особенностей программного обеспечения является то, что имитация и отладка программы происходит до загрузки в логический модуль. На рисунке изображена симуляция работы программы. Она предназначена для проверки работоспособности и нахождения допущенных ошибок при разработке. В этом режиме мы можем включать/выключать дискретные и изменять параметры у аналоговых датчиков. При срабатывании триггера блоков цвет линий меняется на красный.

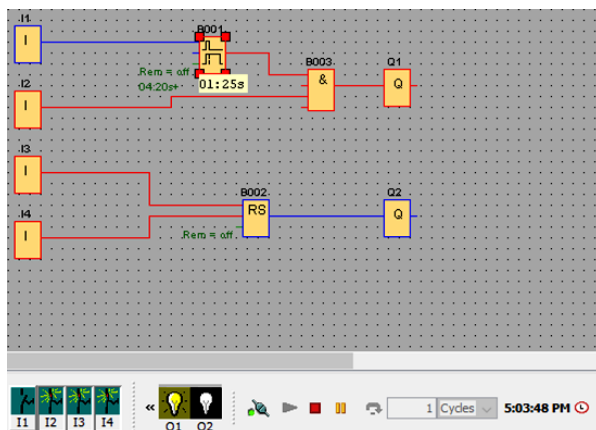


Рис. Моделирование работы программы для редактора функциональных блок-схем

И последнее, но не менее важное: LOGO! Soft Comfort предоставляет профессиональную документацию со всей необходимой проектной информацией и онлайн-справку, которая включает в себя

подробную информацию о временных линиях, объяснение параметров и отдельных функциональных блоков.

Внедрение автоматизированной системы управления вентиляции позволяет расширить функции контроля и управления технологическим процессом, повысить качество и надёжность функционирования системы воздухообмена, а также сократить количество и время локализации аварийных ситуаций и отказов оборудования [6].

Библиографический список

1. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит, 2003. – 131 с.
2. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – М., 1996.
3. О требованиях к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс]. – URL: <http://04.rospotrebnadzor.ru/index.php/san-nadzor/2015-10-01-05-48-10/8134-11102017.html> (дата обращения: 07.05.2021).
4. Структура распределённой АСУ ТП [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.teh-lib.ru/atpip/struktura-raspredeljonnoj-asu-tp/Vsestranitsy.html> (дата обращения: 07.05.2021).
5. Обзор микроконтроллеров SIEMENS LOGO!8 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mege.ru/reviews/siemens/obzor-mikrokontrollerov-siemens-logo-8/> (дата обращения: 07.05.2021).
6. Ягьяева Л.Т., Ахметханов А.А. Автоматизированная система управления приточно-вытяжной вентиляции // Вестник Казанского технолог. ун-та. – 2013. – № 22. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-pritochno-vytyazhnoy-ventilyatsii> (дата обращения: 07.05.2021).

Сведения об авторах

Самойлова Елена Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и системы управления в машиностроении» Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, e-mail: helen_elenka@mail.ru

Хамитов Радик Тимурович – магистрант Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина, гр. м-АТПП-11, г. Саратов, e-mail: radik-hamitov@bk.ru

В.Н. Зеров, И.Н. Носов

СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ СЧИТЫВАЕМЫХ ЗНАЧЕНИЙ С ДАТЧИКОВ ТОКА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЗАРЯДНОМ УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Проводится оценка различных программных алгоритмов фильтрации значений, считываемых с датчиков тока в зарядном устройстве. С точки зрения практической применимости в конечном варианте автоматизированного зарядного устройства проведен ряд испытаний фильтров, таких как: медианный фильтр, скользящее среднее, фильтр Калмана, альфа-бета фильтр. Рассмотрены основные настраиваемые параметры каждого алгоритма фильтрации. Получены соответствующие графики проведенных испытаний.

Ключевые слова: фильтр, алгоритм, алгоритм фильтрации, фильтрация значений, медианный фильтр, скользящее среднее, фильтр Калмана, альфа-бета фильтр.

V.N. Zеров, I.N. Nosov

COMPARISON OF SOFTWARE FILTERING ALGORITHMS ON THE EXAMPLE OF READ VALUES FROM CURRENT SENSORS IN AN AUTOMATED CHARGER FOR LEAD-ACID BATTERIES

This article evaluates various software algorithms for filtering the values read from the current sensors in the charger. From the point of view of practical applicability in the final version of the automated charger, a number of filter tests were carried out, such as: median filter, running average, Kalman filter, Alpha-Beta filter. The main adjustable parameters of each filtering algorithm are considered. The corresponding graphs of the tests carried out were obtained.

Keywords: filter, algorithm, filtering algorithm, value filtering, median filter, running average, Kalman filter, alpha-beta filter.

Ни одно современное электронное устройство не обходится без определенного набора датчиков в своем конструктивном составе. Предназначение датчиков может быть самым разнообразным, но в общем случае датчики необходимы для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Проблема кроется в том, что насколько бы точным ни был датчик, порой получаемый с него сигнал нуждается в фильтрации значений. С этой проблемой суждено было столкнуться и нам при разработке автоматизированного зарядного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторов [1]. Поэтому в данной статье рассмотрим с точки зрения практической применимости в нашем проекте ряд программных алгоритмов фильтрации значений.

Как известно, практически любое промышленное зарядное устройство для свинцово-кислотных аккумуляторов должно обеспечивать необходимый уровень стабилизации значений тока и напряжения с целью четкого соблюдения всех этапов зарядки батарей. Наиболее важными здесь являются показатели, снимаемые с датчиков тока, так как на первом шаге работы с зарядным устройством всегда выбирается уставка по зарядному току, который устройство должно стабилизировать во время работы. В автоматизированном зарядном устройстве, разработанном нами, с целью обеспечения гальванической развязки с сетью и минимизации последствий дрейфа значений, применяются два датчика тока на эффекте Холла. Тем не менее, из-за особенностей процесса зарядки, моментальные показатели тока, снимаемые с датчиков напрямую при помощи аналогово-цифрового преобразователя, не подходят для реализации обратной связи. Более наглядно процесс снятия значений с датчиков тока представлен на рис. 1 при помощи плоттера по последовательному соединению платы микроконтроллера с персональным компьютером [2].

Как можно заметить, получился пилообразный график с выбросами на некоторую величину. Это обусловлено как «шумностью» самих датчиков на эффекте Холла, так и особенностями процесса зарядки батареи, как уже отмечалось ранее. Эта особенность состоит в том, что зарядка батарей осуществляется короткими импульсами длиной в полупериод с паузами той же продолжительности. Пропускается всего лишь одна из полуволн синусоиды, поэтому в определенные моменты времени ток потребления равняется нулю ампер.

Вернемся к рис. 1 для оценки эффективности медианного фильтра из трех значений. Очень хорошо видно, что данный тип фильтра неплохо справляется с резкими выбросами. В этом и заключается его предназначение. Его особенность в том, что на выходе фильтра выдается среднее значение из выборки трех чисел. То есть если у нас есть выборка из трех значений, например 0, 1 и 3, то на выходе фильтра мы получим значение, равное 1, а 3 будет значиться как «выброс».

Также есть вариант данного фильтра с фильтрацией более трех значений, но программный алгоритм значительно сложнее в реализации, при этом скорость быстрогодействия также падает. Пример работы медианного фильтра по 10 значениям представлен на рис. 2.

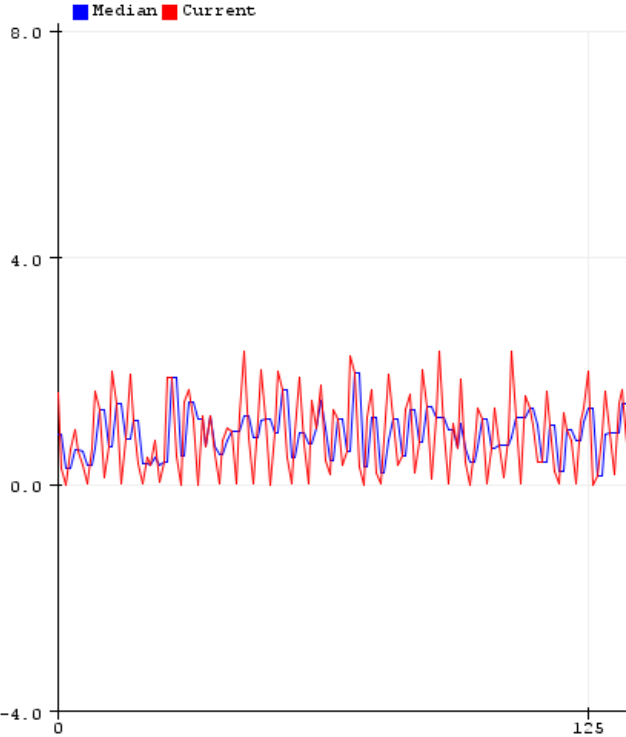


Рис. 1. Показания с датчиков тока (красная линия) в сравнении с отфильтрованными при помощи медианного фильтра из трех значений (синяя линия)

В случае же с медианным фильтром по трем значениям скорость отработки алгоритма приближается к нулю микросекунд. В зарядном устройстве на микроконтроллере не требуется быстрый отклик по изменениям значений с датчиков тока, но есть потребность в алгоритме фильтрации с возможностью внесения корректировок в его работу для обеспечения должной калибровки показателей. Поэтому можно рассмотреть другой, более универсальный, алгоритм фильтрации – скользящее среднее.

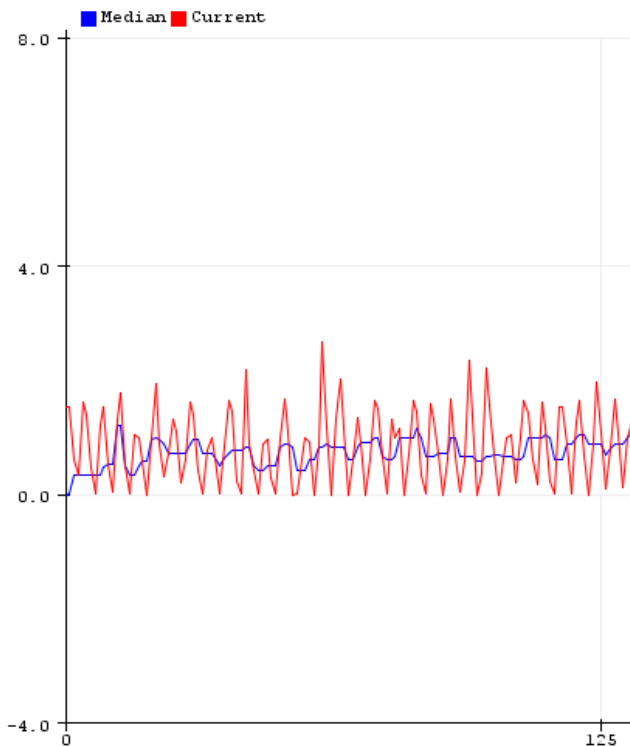


Рис. 2. Показания с датчиков тока (красная линия) в сравнении с отфильтрованными при помощи медианного фильтра из десяти значений (синяя линия)

Фильтр «скользящее среднее» очень похож на простое среднее арифметическое по нескольким итерациям, за исключением лишь тех моментов, что вместо массива значений, из которого вычисляется среднее, берется одно значение, которое в определенные промежутки времени вызова функции фильтра обновляется на новое. Также у фильтра есть возможность применения коэффициента усиления в пределах от 0 до 1 (числа с плавающей запятой), что предоставляет преимущество при настройке сглаживания сигнала. Период вызова функции фильтра в миллисекундах и коэффициент фильтрации можно подобрать экспертным путем. Результат работы алгоритма фильтрации с периодом вызова, равным 0,1 миллисекунде, и коэффициентом фильтрации 0,02 представлен на рис. 3.

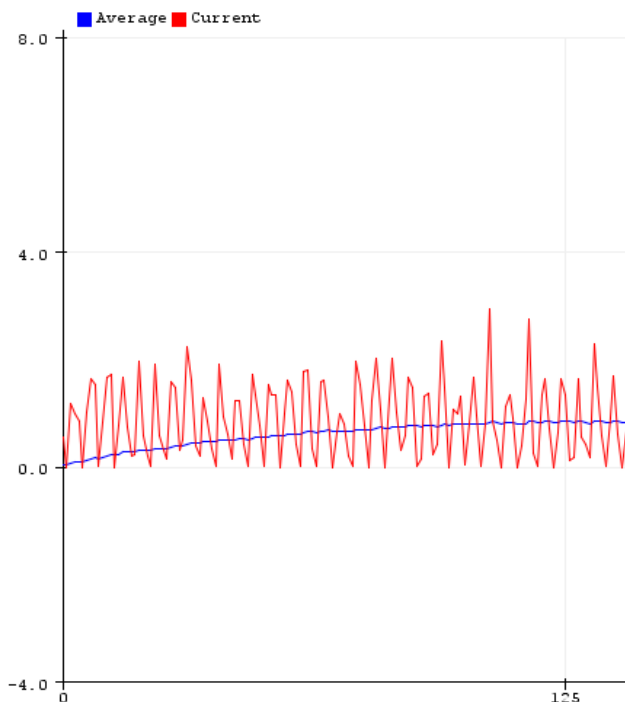


Рис. 3. Показания с датчиков тока (красная линия) в сравнении с отфильтрованными при помощи фильтра скользящее среднее (синяя линия)

Из сравнения линий чистого сигнала с датчиков и отфильтрованного значения по рис. 3 можно сделать вывод, что фильтр запаздывающий. На скорость работы фильтра также влияет выбор коэффициента. Чем меньше будет значение коэффициента, тем более медленно и плавно будет изменяться отфильтрованное значение. Тем не менее уже можно судить об эффективности данного алгоритма в сравнении с медианным фильтром. Очень часто оба этих фильтра применяются совместно для достижения наивысшего эффекта сглаживания сигнала.

Существует также еще один не менее интересный алгоритм с возможностями настройки параметров его работы – фильтр Калмана. Данный фильтр поддерживает задание разброса измерения, разброса оценки, а также скорости изменения значений. Причем уставка

по разбросу оценки является не обязательной, так как данный параметр подстраивается автоматически в процессе работы алгоритма. Его разновидностью является альфа-бета фильтр для одномерного случая, где параметры работы задаются идентично. Поэтому целесообразно будет сравнить эти два алгоритма между собой при одинаково заданных параметрах. Результат отработки алгоритмов фильтрации изображен на рис. 4.

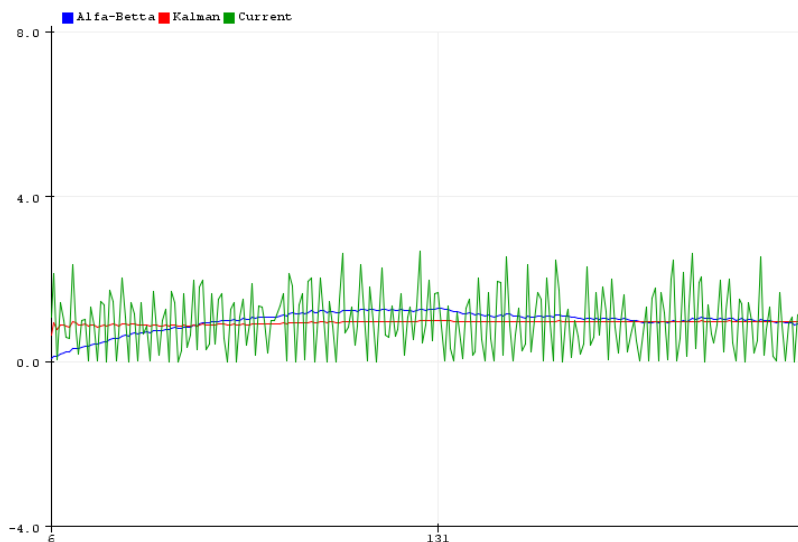


Рис. 4. Показания с датчиков тока (зеленая линия) в сравнении с отфильтрованными при помощи альфа-бета фильтра (синяя линия) и фильтра Калмана (красная линия)

Сходу можно пронаблюдать, насколько быстро фильтр Калмана адаптируется ко входному сигналу. В данном случае уставка по разбросу оценки в программе не была задана. В то же время алгоритм справился с выбросами на высочайшем уровне, чего нельзя сказать об альфа-бета фильтре. Его поведение схоже с поведением фильтра скользящее среднее, который начинает адаптироваться ко входному сигналу через некоторый промежуток времени.

Подводя итоги, можно сказать, что наиболее подходящим алгоритмом фильтрации для применения в конечном варианте программы микроконтроллера автоматизированного зарядного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторов является фильтр Калмана. Так

как он сочетает в себе не только должный уровень быстродействия адаптации ко входному уровню сигнала, приходящего с датчиков тока, но и достойный уровень стабилизации значений, что очень важно для правильной настройки автоматического регулятора и реализации корректной обратной связи по току, а также напряжению. В свою очередь, не стоит относить другие алгоритмы фильтрации, рассмотренные в статье, к списку малоэффективных. Так как у каждого алгоритма есть своя цель и задача, решение которой может быть востребовано в другом проекте, где входной сигнал может быть совершенно другой формы, «зашумленности», скорости изменения значений и т.п. Например, в случае с разрабатываемым зарядным устройством, сигнал с датчиков тока нуждается в фильтрации как от резких скачков, иными словами «выбросов», так и в сглаживании показателей. Поэтому лучшим решением здесь будет совместное применение медианного фильтра по трем значениям с фильтром Калмана [2].

Библиографический список

1. Носов И.Н., Зеров В.Н. Разработка энергоэффективного зарядного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторов на микроконтроллере / ООО НИЦ Вестник науки. – Уфа, 2019. – С. 137–150.
2. Носов И.Н., Зеров В.Н. Симуляция работы зарядного устройства на базе микроконтроллера в Proteus VSM // XII Междунар. интернет-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика». – 2020.

Сведения об авторах

Зеров Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: zvn@msa.pstu.ru

Носов Илья Николаевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-19-1м, г. Пермь, e-mail: ilyanosov@mail.ru

А.Д. Косачёв, А.А. Широков

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Рассматривается подход к организации системы вентиляции химической лаборатории и интеграции ее в общую систему вентиляции здания. Рассмотрены проблемы, возникающие при интеграции, описаны способы и методы их решения. Рассмотрена возможность использования технологий «cleanroom» и Integrated Control and Safety Systems, а также ультразвукового увлажнителя. Оценена целесообразность использования рекуперации энергии в системе вентиляции химической лаборатории. Сделаны выводы об эффективности интеграции системы вентиляции в аспектах безопасности, энергоэффективности и простоты эксплуатации.

Ключевые слова: интеграция, система вентиляции, безопасность эксплуатации, энергоэффективность.

A.D. Kosachyov, A.A. Shyrokov

DEVELOPMENT OF A VENTILATION SYSTEM FOR A CHEMICAL LABORATORY

The article discusses an approach to the organization of the ventilation system of a chemical laboratory and its integration into the general ventilation system of the building. The problems arising during integration are considered, the ways and methods of their solution are described. The possibility of using technologies "cleanroom" and Integrated Control and Safety Systems, as well as an ultrasonic humidifier is considered. The expediency of using energy recovery in the ventilation system of a chemical laboratory has been assessed. Conclusions are made about the effectiveness of the integration of the ventilation system in terms of safety, energy efficiency and ease of use.

Keywords: integration, ventilation system, operational safety, energy efficiency.

Системы вентиляции в современном производстве играют важную роль, поддерживая необходимые параметры микроклимата на должном уровне. К таким параметрам можно отнести влажность и температуру воздуха в помещении, концентрацию газов, содержащихся в воздухе (азот, кислород, углекислый газ), а также веществ, выделяющихся в парообразном состоянии на производстве [1].

Поддержание данных параметров требует создания автоматизированной системы управления вентиляцией на промышленном

объекте, где каждая секция производства, обслуживания, анализа или другая сфера деятельности предприятия требует индивидуального подхода к построению, функционированию и диспетчеризации системы вентиляции в определённой секции. Примером рассмотрения данной проблематики может служить организация системы вентиляции здания лабораторий цеха тепловодоснабжения и канализации Инженерно-Технического Центра ООО «Газпром трансгаз Чайковский». В этом здании интегрирована система автоматизированного управления вентиляцией всего здания, которая отвечает общим требованиям организации касательно помещений, находящихся в промышленной зоне или вблизи неё [2]. Дополнительно необходимо разработать и внедрить автоматизированную систему вентиляции для отдельного помещения в данном здании, а именно лаборатории химической безопасности.

Поскольку лаборатории химической безопасности имеют более высокие требования по составу воздуха (процентному содержанию его компонентов относительно друг друга), влажности и скорости смены воздуха в помещениях, то очевидно, что данная лаборатория должна иметь отдельный от основной системы вентиляции здания приток воздуха. Поскольку данный приток необходимо регулировать, а также при необходимости повышать/понижать влажность воздуха, реализовать приток воздуха имеет смысл только при помощи принудительной вентиляции со встроенной функцией кондиционирования. Причём в целях пожарной и общей безопасности точки забора и вывода воздуха для лаборатории должны быть разнесены относительно подобных точек основной вентиляции [3, 4].

Вытяжка в системе вентиляции лаборатории также должна быть принудительной, так как лаборанты работают с летучими, огнеопасными и/или взрывоопасными веществами (метан, бензолные соединения). Над каждым рабочим местом (в данной лаборатории их четыре необходимо установить дополнительную принудительную вытяжку, обеспечить каждое место газовыми датчиками, средствами аварийного пуска/останова системы вентиляции как каждого рабочего места в частности, так и всей лаборатории в целом [3, 4].

Поскольку весь приток/вытяжка воздуха в лаборатории осуществляется принудительно, т.е. при помощи вентиляторов с электрическим приводом, всё это должно укомплектовываться дополнительным оборудованием для управления системой, таким как вышеупо-

мянутые датчики загазованности помещения, датчики пожара, влажности, температуры, частотные преобразователи для плавного пуска/останова вентиляторов. Всё это повышает сложность автоматизированного управления системой вентиляции, повышает энергозатраты и снижает отказоустойчивость и безопасность системы.

На основании вышеописанных проблем следует выделить пути и методики, которые обеспечат безопасную и энергоэффективную интеграцию дополнительной системы вентиляции.

В точках установки лабораторного оборудования необходимо организовать местную вытяжку с датчиками загазованности места и скорости воздуха.

Обязательна установка дистанционного модуля автоматического пуска с таймером включения/выключения (на базе отдельного контроллера для каждой лаборатории). Данное решение позволит обеспечить лабораторию в случае, если при аварии персонал не сможет попасть в помещение лаборатории.

Воздуховод основной вентиляции в месте притока и вытяжки воздуха в лаборатории необходимо оснастить автоматическими воздушными заслонками на случай общей аварии в лаборатории. На случай местной аварии каждое рабочее место также должно оснащаться автоматической заслонкой в месте вытяжки воздуха.

Внутри помещения лаборатории давление должно быть пониженным, на 5–10 паскалей ниже, чем в остальной части комплекса. Так повышается КПД вытяжки отработанных воздушных масс. Для мониторинга давления требуется установить датчик давления воздуха, общий для всего помещения лаборатории.

Необходимо обеспечить полноценное кондиционирование и увлажнение воздуха. Вытяжную вентиляцию необходимо оснастить фильтрами дополнительной очистки воздуха (HEPA-фильтры) для сохранения стабильной экологической обстановки.

Лаборатория должна защищаться от срабатывания пожарной сигнализации в остальном здании. Питание лаборатории производится отдельно от альтернативного источника электроэнергии, оборудуется специальными средствами пожаротушения (углекислотными огнетушителями для сохранения оборудования лаборатории) и дополнительными датчиками пожарной сигнализации. Данные решения осуществляются для предотвращения внезапного отключения вентиляции лаборатории в случае аварийной ситуации.

Необходимо, при помощи вышеописанных средств, применять технологию «Чистого помещения» (Cleanroom) для качественного контроля за содержанием бензольных соединений в помещении [5]. Данная технология основывается на использовании помещений, в которых контролируется концентрация аэрозольных частиц и другие параметры, например, температура, влажность и давление. Такие помещения, как правило, строятся и используются так, чтобы свести к минимуму поступление, генерацию и накопление данных частиц внутри помещения.

При выборе регулятора влажности стоит отдать предпочтение наиболее энергоэффективному методу. Наиболее распространёнными методами являются традиционный (использование влажных картриджей в системе вентиляции), паровой (использование парогенераторов на нагревательных элементах) и ультразвуковой. Пар в данном приборе создаётся при помощи высокочастотной мембраны, работающей на ультразвуковой частоте. Механическая вибрация получается путём преобразования напряжения высокой частоты, подаваемого на пьезоэлектрический кристалл и находящегося в жидкости. При этом образуются чередующиеся слои повышенного и пониженного давления. В областях пониженного давления происходит вскипание жидкости при обычной комнатной температуре с выбросом в воздух мелкодисперсных частиц. Полученное водяное парообразное облако подаётся вентилятором в помещение. Пьезоэлектрический метод обладает определёнными преимуществами по сравнению с остальными двумя – процесс управления более точен (управление по напряжению), затрачивает мало энергии по сравнению с паровым методом, так как не требует больших затрат энергии на нагрев и имеет лучшее быстроедействие среди других методов [6, 7]. На основе всего вышеперечисленного необходимо отдать предпочтение ультразвуковому методу как самому энергоэффективному и наиболее точному. Структура устройства ультразвукового увлажнителя изображена на рисунке.

Организованная система вентиляции должна управляться и регулироваться при помощи отдельного логического контроллера, идентичного по производителю и модели контроллерам, используемым для управления процессами в общей системе вентиляции.

Диспетчерский уровень автоматизации необходимо объединить с диспетчерским уровнем системы управления общей вентиляцией для повышения энергоэффективности, согласно стандартам Integrated Control and Safety Systems (ICSS) [8].



Рис. Устройство ультразвукового увлажнителя

Реализуемая в системе вентиляции рекуперация энергии может значительно повысить энергоэффективность вентиляции независимо от масштабов интегрируемой системы [9]. Однако для данных лабораторий критически важно, чтобы точки забора свежего и выброса отработанного воздуха были разведены друг от друга, чтобы отработанный воздух не попадал обратно в помещение лаборатории. Поэтому рекуперация воздуха, основанная на комплексной приточно-вытяжной системе вентиляции воздуха в данной лаборатории невозможна.

Таким образом, интеграция дополнительных установок и даже подсистем в системах современной промышленной вентиляции имеет определённые недостатки, затрагивающие аспекты энергоэффективности и простоты эксплуатации. Однако разнесение определённых функций между несколькими подсистемами позволяет повысить безопасность эксплуатации как всей системы, так и отдельной установки, особенно если для данных установок используются различные подходы и стандарты безопасности.

В современной сфере автоматизации и интеграции систем управления вентиляцией стоит обращать внимания на готовые аппаратные решения по обособленным приточным системам вентиляции и кондиционирования воздуха. Примером могут служить решения фирм DAIKIN, Mitsubishi Electric, Fujitsu и др. Решения данных фирм оснащены комплектом необходимых датчиков, благодаря чему они способны регулировать температуру и влажность воздуха, обеспечивать необходимую фильтрацию даже в загазованной атмосфере.

сфере. Такие решения также можно интегрировать в уже установленные системы автоматического управления процессом вентиляции воздуха [10].

Библиографический список

1. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. «ИВИК». – 2003. – 626 с.
2. СТО Газпром 1.8-2014. Система стандартизации ОАО «Газпром». – М.: Газпром, 2014.
3. ПНДФ 12.13.1-03. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – М., 2003
4. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. – М., 2007.
5. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. – М., 2017.
6. Experimental study of the membrane contactor systems for gas dehumidification / V.V. Usachov, N.I. Laguntsov, A.Y. Okunev, V.V. Teplyakov, S.D. Glukhov // *Ars Separatoria Acta. Poland.* – 2003. – № 2. – P. 36–47.
7. Окунев А.Ю. Перспективы применения мембранных технологий при эксплуатации зданий // *Academia архитектура и строительство.* – 2009. – № 5. – С. 476–479.
8. Ian Curtis. Integrated Control and Safety // *Measurement + Control.* – June 2011. – Vol. 44/5 – P. 144–149.
9. Косачёв А.Д., Широков А.А. Модернизация системы вентиляции офисного здания // XI Междунар. интернет-конф. InnoTech-2019. – 2019. – С. 71–77.
10. Система эксклюзивного климата от DAIKIN // *Мир климата.* – 2004. – № 25. – С. 24–28.

Сведения об авторах

Косачёв Андрей Дмитриевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: andrei_kosachyov@mail.ru

Широков Александр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные системы автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shirokov@pstu.ru

Е.А. Кондратьев, С.В. Трошин, С.А. Сторожев

НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассматривается метод создания нечётких регуляторов систем автоматического управления подачей топлива в камеру сгорания газотурбинного двигателя, с целью повышения качества управления. В фаззификаторе нечётких регуляторов применяются треугольные функции принадлежности. Выход нечетких регуляторов рассчитывается методом взвешенного среднего. Блок правил составлен методом перебора заданных терм-множеств.

Ключевые слова: Авиационный газотурбинный двигатель, нечеткий регулятор, контур управления подачей топлива, фаззификатор, дефаззификатор, блок правил, дозатор.

S.V. Troshin, E.A. Kondratyev, S.A. Storozhev

FUZZY FUEL CONTROL TO THE COMBUSTION CHAMBER OF A GAS TURBINE ENGINE

This article discusses a method for creating fuzzy regulators for automatic control of fuel supply to the combustion chamber of a gas turbine engine, in order to improve the quality of control. In the fuzzifier of fuzzy controllers, triangular membership functions are used. The output of fuzzy controllers is calculated by the weighted average method. The block of rules is composed by enumerating the given term-sets.

Keywords: Aircraft gas turbine engine, fuzzy logic, fuel supply control loop, fuzzifier, defuzzifier, rule block, dispenser.

Газотурбинный двигатель (далее ГТД), применяемый как силовая установка летательных аппаратов, является сложным и нелинейным объектом с известным математическим описанием [1].

При управлении данным типом двигателя система автоматического управления (далее САУ) должна вести постоянный контроль параметров двигателя и учитывать их при управлении. В состав современной САУ обычно входит электронный регулятор двигателя, который выдаёт сигналы управления на дозирующее

устройство, тем самым обеспечивая подачу топлива в камеру сгорания в требуемом объёме. Программное обеспечение регулятора реализует принцип управления контурами ГТД по отклонению от заданных параметров [2].

При разработке электронных регуляторов ГТД контуры рассчитываются оптимальными при постоянстве статических характеристик двигателя и его устройств. Но если рассматривать реально протекающие процессы при эксплуатации двигателя и влияние их на управление ГТД, то расчётные значения настроек регуляторов уже не будут оптимальными и будут ухудшаться с увеличением времени эксплуатации. Также на эффективность управления может повлиять качество применяемого топлива, неучтённое влияние климатических факторов, старение оборудования двигателя и т.д.

В связи с вышесказанным, для обеспечения эффективного управления двигателем требуется его математическое описание для каждого момента времени эксплуатации [3].

Также недостатком традиционно применяемых ПИД регуляторов для контуров управления дозированием топлива является необходимость приводить коэффициенты усиления в зависимости от заданного управляющей системой режима работы ГТД.

Рассмотрим вариант замены штатных ПИД регуляторов в контурах управления подачей топлива в камеру сгорания двигателя на нечеткие регуляторы, который позволил бы устранить вышеупомянутый недостаток.

В качестве модели ГТД возьмём модель с динамическим кольцом и расчетом температуры за камерой сгорания [4, 5], в которой определены следующие контуры:

- контур частоты вращения ротора компрессора (« n_k »);
- контур температуры газа за турбиной вентилятора (« T_t »);
- контур частоты вращения ротора вентилятора (« n_v »).

В каждом контуре управление осуществляется своим ПИД-регулятором [4].

Селектор осуществляет управление подачей топлива в камеру сгорания двигателя через дозатор.

Модель управления дозированием топлива в камеру сгорания авиационного ГТД представлена на рис. 1.

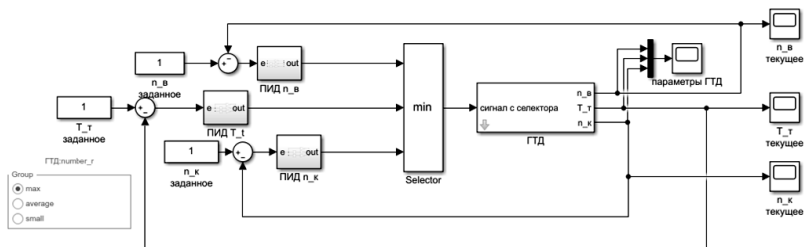


Рис. 1. Модель управления дозированием топлива в камеру сгорания ГТД

Для определения лучшего варианта управления двигателем построена следующая целевая функция (1) [7]:

$$F = 0,4 \cdot \left(\dot{t}_{nn}^{n-k} + \dot{t}_{nn}^T + \dot{t}_{nn}^{n-v} \right) + 0,6 \cdot \left(\dot{\delta}^{n-k} + \dot{\delta}^{n-T} + \dot{\delta}^{n-v} \right), \quad (1)$$

где $\dot{t}_{nn}^{n-k}$ – относительное время переходного процесса в контуре « n_k »; $\dot{t}_{nn}^T$ – относительное время переходного процесса в контуре « T_T »; $\dot{t}_{nn}^{n-v}$ – относительное время переходного процесса в контуре « n_v »; $\dot{\delta}^{n-k}$ – относительное перерегулирование контура « n_k »; $\dot{\delta}^{n-T}$ – относительное перерегулирование контура « T_T »; $\dot{\delta}^{n-v}$ – относительное перерегулирование контура « n_v ».

В представленной схеме на рис. 1 выполним замену ПИД-регуляторов контуров на нечеткие регуляторы. Основные этапы проектирования нечетких регуляторов для выбранных контуров рассмотрим на примере контура частоты вращения ротора компрессора (« n_k »).

На вход нечеткого регулятора также подадим пропорциональную, дифференциальную и интегральную составляющие сигнала расогласования по частоте вращения вентилятора (рис. 2).

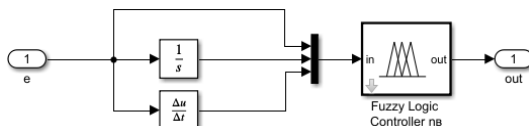


Рис. 2. Вход нечеткого регулятора контура частоты вращения вентилятора

Для каждого входа зададим по три треугольных термы: малое (М), норма (Н) и большое (Б). Числовые значения функций принад-

лежности выбраны с учётом опыта применения ПИД-регуляторов на реальных объектах и представлены на рис. 3, где «e» – отклонения от заданного сигнала; «ie» – интегральная составляющая отклонения от заданного сигнала, «de» – дифференциальная составляющая отклонения от заданного сигнала.

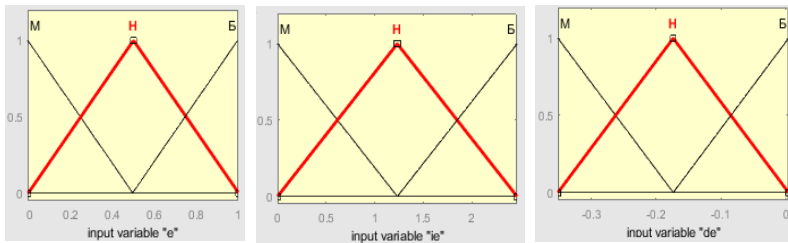


Рис. 3 Функции принадлежности

Блок правил составлен методом перебора всех полученных термножеств. Итого получилось 27 правил:

- 1) ЕСЛИ ($e = M$) И ($ie = M$) И ($de = M$), ТО (выход регулятора = out_1);
- 2) ЕСЛИ ($e = M$) И ($ie = M$) И ($de = H$), ТО (выход регулятора = out_2);
- 3) ЕСЛИ ($e = M$) И ($ie = M$) И ($de = B$), ТО (выход регулятора = out_3);
- ...
- 26) ЕСЛИ ($e = B$) И ($ie = B$) И ($de = H$), ТО (выход регулятора = out_{26});
- 27) ЕСЛИ ($e = B$) И ($ie = B$) И ($de = B$), ТО (выход регулятора = out_{27}).

В выбранном алгоритме Сугено выход представлен в виде уни-модальных функций принадлежности [4]: $out_1, out_2, out_3 \dots out_{27}$.

После расчета степеней принадлежности в фаззификаторе, проводятся преобразования в дефаззификаторе с помощью метода взвешенного среднего (2) [5–7].

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{27} \mu_i \cdot out_i}{\sum_{i=1}^{27} \mu_i}, \quad (2)$$

где out_i – унимодальная функция принадлежности i -го правила; μ_i – степень принадлежности i -го правила; k – выход нечеткого регулятора.

Нечеткие регуляторы для остальных контуров («Т_т» и «n_в») построены аналогичным образом. На рис. 4–6 представлены сравнительные графики переходных процессов для ПИД и нечетких регуляторов для рассматриваемых контуров ГТД.

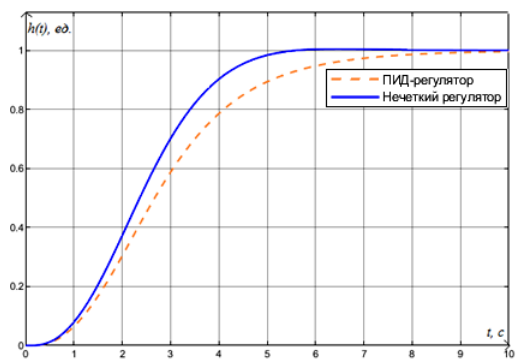


Рис. 4. Переходный процесс в контуре «n_v»

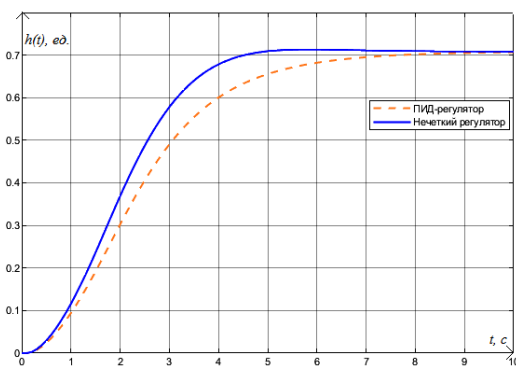


Рис. 5. Переходный процесс в контуре «T_t».

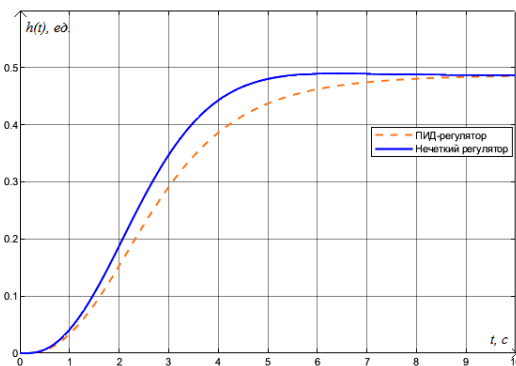


Рис. 6. Переходный процесс в контуре «n_k»

Сравнительная оценка основных показателей качества переходных процессов рассматриваемых контуров управления дозированием топлива в камеру сгорания ГТД представлена в табл. 1.

Таблица 1

Оценка показателей качества переходных процессов

Регулятор	Время переходного процесса, с			Перерегулирование, %		
	«п_к»	«Т_т»	«п_в»	«п_к»	«Т_т»	«п_в»
ПИД-регулятор	6,08	5,25	6,01	0,23	0,11	0,54
Нечеткий регулятор	4,45	3,95	4,41	0,31	0,15	0,62

Для нормализации показателей качества выполняем деление времени переходного процесса на 6,08, а перерегулирования на 0,62. Целевую функцию для оценки качества управления считаем согласно выражению (1). Нормализованные показатели качества приведены в табл. 2.

Таблица 2

Нормализованные показатели качества переходных процессов

Регулятор	Время переходного процесса, с			Перерегулирование, %			Целевая функция согласно (1)
	«п_к»	«Т_т»	«п_в»	«п_к»	«Т_т»	«п_в»	
ПИД-регулятор	1	0,863	0,988	0,371	0,177	0,871	1,992
Нечеткий регулятор	0,732	0,650	0,724	0,500	0,242	1	1,884

Согласно полученным значениям целевой функции (см. табл. 2) замена ПИД-регуляторов на нечёткие в контурах управления подачей топлива в камеру сгорания двигателя улучшила качество управления на 9,45 %.

Таким образом, применение нечетких регуляторов в контурах подачи топлива в камеру сгорания двигателя позволяет существенно повысить качество управления.

Библиографический список

1. Шульгин В.А., Гайсинский С.Я. Двухконтурные турбореактивные двигатели маломощных самолетов. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.

2. Гуревич О.С. Управление авиационными газотурбинными двигателями: учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 100 с.
3. Клячкин А.Л. Теория воздушно-реактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1969.
4. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. 2-е изд. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013.
6. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013.
7. Нейронечеткое управление выбросами вредных веществ авиационного газотурбинного двигателя / Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский, Т.С. Леготкина, Ю.Н. Хижняков, А.А. Сторожев, В.С. Никулин, А.А. Южаков, М.Д. Кузнецов // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2020. – Т. 2, № 6. – С. 348–355.

Сведения об авторах

Кондратьев Евгений Андреевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ1-19-1м, г. Пермь, e-mail: kondratev2011@bk.ru

Трошин Сергей Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ1-19-1м, г. Пермь, e-mail: sergey.troshin.13@yandex.ru

Сторожев Сергей Александрович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: sepra5@mail.ru

Д.К. Польшгалова

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ

Проводится анализ постановки задачи адаптивного управления, рассмотрение методов, реализована структура управления с адаптивным наблюдателем. Производится синтез объекта с нестационарными параметрами. Результатом моделирования является таблица параметров регулятора при нестационарном коэффициенте k .

Ключевые слова: адаптивные системы управления, нестационарные параметры объекта управления.

D.K. Polygalova

ADAPTIVE MANAGEMENT OF NON-STATIONARY SYSTEMS

The paper analyzes the formulation of the adaptive control problem, considers the methods, and implements the control structure with an adaptive observer. An object with non-stationary parameters is synthesized. The result of the simulation is a table of the controller parameters with a non-stationary coefficient k .

Keywords: adaptive control systems, non-stationary parameters of the control object.

Высокий рост интеграции ИТ-технологий, усложнение и усовершенствование технологических процессов ведет к повышению требований, таких как качество выпускаемой продукции, уменьшение ресурсных затрат, будь то время, сырье, люди, при этом информационный ресурс возрастает многократно. Все вышеперечисленное устанавливает высокие требования к системам управления технологическими процессами. Следствием таких усложнений является нестационарность параметров, нелинейность и запаздывание. Также дополнительное влияние вносят неконтролируемые внешние возмущения. Обычная система управления, при учете данных факторов не обеспечивает желаемые показатели качества [1, 2].

Высокие динамические показатели качества системы управления могут достигаться путем введения в них адаптивно-модального управления. Данные регуляторы позволяют выполнять функции адаптивной идентификации переменных состояния объекта, которая осуществляется при помощи наблюдателей. Оптимизация системы

управления по переходному режиму и адаптации объекта к меняющимся внешним условиям, которые невозможно спрогнозировать, при этом адаптируя к желаемому движению [3].

Все это на данный момент нереализуемо. Это связано с отсутствием методик синтеза и расчета адаптивных наблюдателей и систем адаптивно-модального управления для систем с запаздываем. Отсутствуют схемные решения адаптивных систем управления и наблюдения, которые учитывали бы особенности конкретного объекта управления.

Возможное решение данной проблемы в разработке простых в исполнении и настройке адаптивных структур и наблюдателей.

Принцип построения задачи адаптивного управления сводится к математической постановке адаптивного управления и сравнения с постановкой задачи оптимального управления [4]. Данный способ позволяет наглядно продемонстрировать суть адаптивного управления, который мы рассмотрим на примере.

Найти управление, доставляющее экстремум критерию J_i :

$$u = u\{\text{ext}_{u \in U} J_1(x, K, z, g, u, \hat{f}, \xi, t)\},$$

где g – входные воздействия (уставки); K – матрица настраиваемых параметров регулятора; z – вектор дополнительных воздействий (для компенсации параметрических отклонений).

Изменение K принято называть параметрической адаптацией, z – сигнальной настройкой системы. Задача разделяется на две:

- а) поиск ext_{J_1} при фиксированных K и Z ;
- б) поиск K и z таких, что: $[K, z] = \text{ext}_{K, z} J_2(x[K, z], g, u, \hat{f}, \xi, t)$ (в этом состоит отличие адаптивного управления от оптимального).

В адаптивных системах управления существуют системы с эталоном. Для них рассмотрим:

$$\dot{x}_\Xi = A_\Xi x_\Xi + B_\Xi g, x_\Xi(t_0) = x_{\Xi 0},$$

$$(\forall \varepsilon_0 > 0)(\exists t \geq t_a): (\forall \xi \in \xi_{\text{доп}}) \|x(t) - x_\Xi(t)\| = \|e(t)\| \leq \varepsilon_0.$$

$$\text{или } \lim_{t \rightarrow \infty} \|e(t)\| = 0$$

Таким образом, следует сформулировать управление так, чтобы начиная с некоторого момента $t \geq t_a$ разность между поведением объекта и эталона была меньше небольшой заданной величины, а в пределе при $t \rightarrow \infty$ была равна нулю.

Одним из методов адаптивного управления является схема первого приближения МПТ. Она включает в себя объект управления с регулятором, который описывается следующей функцией:

$$\dot{x}(t) = (A + K_A)x(t) + (A + K_A)v(t); x(t_0) = x_0.$$

Эталонная модель имеет функцию:

$$\dot{x}(t) = A_{\exists}x_{\exists}(t) + B_{\exists}v(t); x_{\exists}(t_0) = x_{\exists 0},$$

$$e = x - x_{\exists} \Rightarrow \dot{e} = A_{\exists}e + \delta_A x + \delta_B v = A_{\exists}e + W\delta.$$

Требованием является, чтобы движение этого контура удовлетворяло эталонной модели.

Критерий:

$$J(e, t) = \frac{1}{2} e(t)^T P e(t),$$

где P – симметричная и положительно определенная матрица: $P^T = P$; $P > 0$.

Необходимое условие:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0.$$

$\dot{e} = A_{\exists}e + \delta_A x + \delta_B v = A_{\exists}e + W\delta$ – нелинейное нестационарное уравнение.

Для достижения цели управления, минимизации критерия, необходимо построить уравнение следующим образом:

$$\frac{dJ}{dt} < 0; \Delta J = \Delta e^T P e < 0,$$

Так как нам необходимо построить управление в зависимости от времени, его необходимо разложить в ряд Тейлора, ограничивая первым порядком:

$$-A_{\exists}\Delta e = (\delta_A x(t) + \delta_B v(t))\Delta t + p(t),$$

где $p(t)$ – член большего порядка малости.

Предположим, что $p(t)$ можно пренебречь. Тогда для следа матрицы A можно записать:

$$-Tr(A_{\exists}\Delta \bar{e}e^T P) = Tr(\delta_A x + \delta_B v)e^T P \Delta t,$$

где $\Delta \bar{e}$ – приближенное значение приращения ошибки, полученное за счет отбрасывания $p(t)$; $A_{\exists}\Delta \bar{e}e^T P$ – всегда положительная величина. Необходимо определенным образом сформировать δ_A и δ_B .

Их можно задать в виде:

$$\begin{cases} \dot{\delta}_A = -\Gamma_A P e x^T \\ \dot{\delta}_B = -\Gamma_B P e v^T \end{cases} \Gamma_A > 0, \Gamma_B > 0 (\text{положительно определенные}).$$

Исходя из вышеуказанных условий, в исходном уравнении получаем положительные квадратичные формы. Необходимо, чтобы матрица P удовлетворяла критерию Ляпунова:

$$A_3 P^T + P A_3 < 0; P > 0, A - \text{устойчивая.}$$

Получаем законы изменения (настройки) матриц:

$$\dot{\delta}_A = K_A - K_A^0 \Rightarrow \dot{\delta}_A = K_A; \quad \dot{\delta}_B = K_B - K_B^0 \Rightarrow \dot{\delta}_B = K_B.$$

При этом выбор конкретных значений Γ_A и Γ_B определяется динамикой во вторичных контурах, чаще всего определяется экспериментально. Общий вид структуры адаптивной системы представлен на рис. 1.

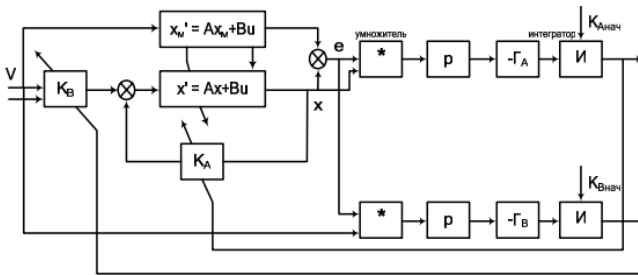


Рис. 1. Структура адаптивной системы

В качестве объекта управления возьмем объект второго порядка с передаточной функцией:

$$W(S) = \frac{1}{5s^2 + 7s + 1}.$$

Разработаем систему адаптивного управления, которая будет определять критические изменения качества переходного процесса и подстраивать коэффициенты ПИД-регулятора таким образом, чтобы переходный процесс вернулся к состоянию апериодического (близкого к апериодическому) процессу.

Мерой качества переходного процесса системы автоматического управления выберем интегральную квадратическую ошибку регулирования. Наименьшим значением данного параметра будет при апериодическом переходном процессе, наибольшим значение параметра будет при колебательном переходном процессе.

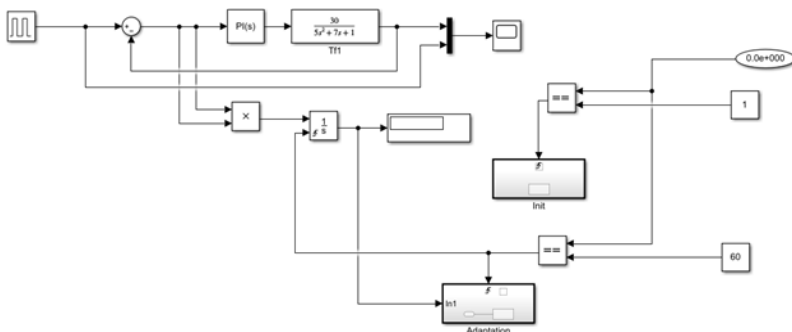


Рис. 2. Схема системы автоматического управления

На рис. 2 представлена схема системы автоматического управления, которая производит адаптацию в некоторые моменты времени, проводя сравнение текущего времени с установленными порогами. Это значит, что в определенные моменты времени начинают работу подсистемы, производящие модификацию коэффициентов объекта управления и регулятора. Установленное время работы системы примем за 100 с [5, 6]. Алгоритм работы системы управления:

1. В момент времени $t = 1$ с происходит инициализация параметров регулятора, в ПИД-регулятор передаются эталонные значения.
2. В течение секунды происходит моделирование системы.
3. При $t = 60$ с происходит расчет относительного отклонения накопленной ошибки от эталонного значения ошибки, если отклонение превышает 10 %, то коэффициенты перерасчитываются.
4. Подается ступенчатый сигнал и снимается переходная характеристика системы.

Результаты работы системы представлены на рис. 3 и в таблице.

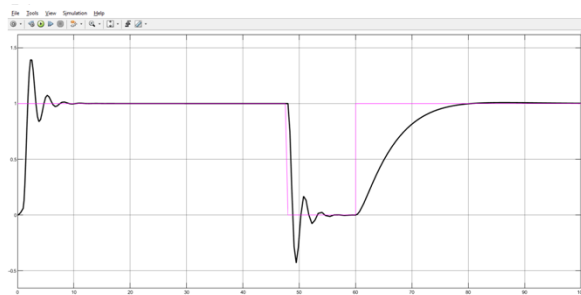


Рис. 3. Результат работы системы

Результаты эксперимента

k	P	I	E
1	0,86	0,17	3,676
2	0,43	0,085	3,676
3	0,287	0,057	3,676
4	0,215	0,0425	3,676
5	0,172	0,034	3,676
6	0,143	0,028	3,697
7	0,123	0,024	3,691
8	0,108	0,021	3,686
9	0,096	0,019	3,66
10	0,086	0,017	3,676
20	0,043	0,0085	3,659
30	0,029	0,006	3,742
40	0,0215	0,0043	3,659
50	0,0172	0,0034	3,676

Библиографический список

1. Лукас В.А. Теория управления техническими системами: учеб. пособие. –4-е изд., исп. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 667с.
2. Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 911 с.
3. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.Н. Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
4. Шароватов В.Т. Обеспечение стабильности показателей качества автоматических систем. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 176 с.
5. Куропаткин П.В. Оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1980. – 287 с.
6. Ядыкин И.Б., Шумский В.М., Овсепян Ф.А.. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.

Сведения об авторе

Полыгалова Дарья Константиновна – бакалавр Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: polygalova@list.ru

М.А. Марьин, А.А. Широков

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОМОЛА ДЛИННОГО ВОЛОКНА

Рассматривается процесс размола макулатурной массы и автоматизированная система помола длинного волокна, позволяющая повысить качество подготовки макулатурной массы. Описаны основные технологические параметры и способы их регулирования, а также система блокировок, позволяющая избежать преждевременного износа оборудования и возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: автоматизация, мельница, длинное волокна, размол.

M.A. Marin, A.A. Shirokov

AUTOMATED LONG FIBER GRINDING SYSTEM

This article discusses the process of grinding waste paper and an automated system for grinding long fibers, which allows you to improve the quality of preparation of waste paper. The main technological parameters and methods of their regulation, as well as the blocking system, which allows avoiding premature wear of equipment and emergency situations, are described.

Keywords: automation, mill, long fiber, grinding.

В целлюлозно-бумажной промышленности при производстве бумаги и картона используется два вида сырья: первичное сырье (целлюлоза) и вторсырье (макулатура). Использование макулатуры в качестве сырья позволяет снизить эксплуатационные затраты, так как подготовка макулатуры требует меньше электроэнергии и воды, чем подготовка первичного сырья. Макулатура считается более экологичным материалом, так как ее использование позволяет снизить объем вырубki лесов, а также снизить загрязнение воздуха и воды при производстве. Замена 1 т первичного сырья на вторичное позволяет снизить объем вырубki лесов на 4 м³, что эквивалентно 24 деревьям, сохранить 33 м³ чистой воды и 4,5 МВт/ч электроэнергии.

Среди недостатков макулатурной массы можно выделить пониженные бумагообразующие свойства и повышенное количество разнообразных загрязнений, что, в свою очередь, может привести к преждевременному износу оборудования и ухудшению технологи-

ческих параметров качества готовой продукции, поэтому при подготовке макулатурной массы главными целями становятся удаление загрязнений и восстановление бумагообразующих свойств [1].

Одним из важных технологических параметров бумажной массы является степень помола, измеряемая в градусах Шоппер – Риглера. Определение степени помола основано на разности скорости фильтрации воды через слои волокон одинаковой массы, но разной плотности или структуры, которые, в свою очередь, зависят от размеров волокон и степени их фибрилляции [2]. Для увеличения степени помола бумажная масса подвергается размолу в специальных аппаратах непрерывного действия – дисковых или конических мельницах. Цель размолы – сделать волокна сырья гибкими, пластичными, увеличить их поверхность для эффективного связеобразования, что, в свою очередь, повышает плотность готовой продукции. Во время размолы волокна бумажной массы подвергаются внешней и внутренней фибрилляции, что приводит к отделению фибрилл от волокна и перегруппировке структурных элементов внутри вторичной стенки волокна. Также волокна подвергаются укорачиванию, что приводит к упрочнению готового бумажного листа. В зависимости от степени помола изменяются основные свойства готовой продукции [3].

На рис. 1 изображена зависимость свойств бумаги от степени помола. Силы межволоконных связей повышаются с увеличением степени помола, это объясняется увеличением удельной поверхности волокон, но при этом происходит уменьшение средней длины волокна. Таким образом, на механические показатели бумаги влияют противоположно направленные факторы. Изначально связи между волокнами растут быстрее, чем снижается средняя длина волокон, перегиб кривых наступает лишь тогда, когда увеличение прочности, обусловленное силами межволоконных связей, уже не могут скомпенсировать снижение прочности, обусловленное снижением средней длины волокна.

Для управления технологическим процессом размолы разработана автоматизированная система помола длинного волокна, которая состоит из двух параллельно работающих конических мельниц, бассейна длинного волокна и двух линий рециркуляции массы. На рис. 2 представлена технологическая схема системы помола длинного волокна.

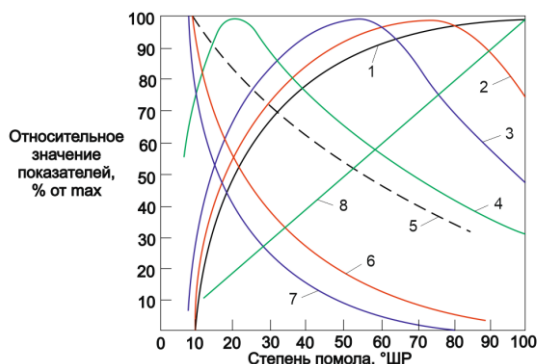


Рис. 1. Изменение основных свойств бумаги в зависимости от степени помола массы: 1 – силы связей между волокнами; 2 – разрывная длина; 3 – сопротивление излому; 4 – сопротивление раздиранию; 5 – средняя длина волокон; 6 – впитывающая способность; 7 – воздухопроницаемость; 8 – деформация при увлажнении

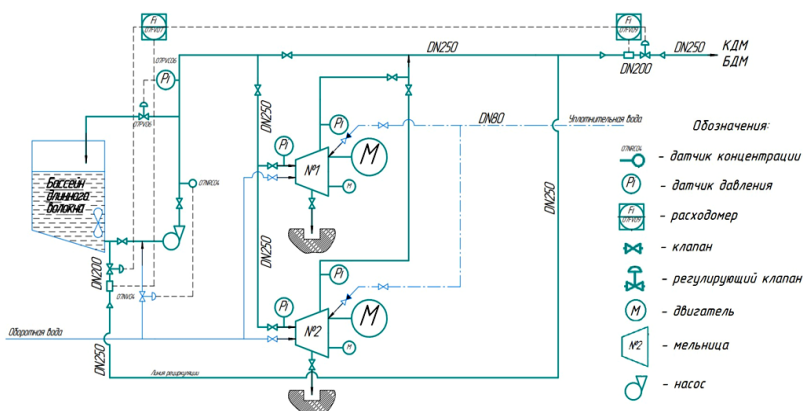


Рис. 2. Технологическая схема системы помола длинного волокна

Размол бумажных волокон происходит внутри мельницы между ножами статора и ротора, степень помола регулируется прижимом ротора к статору. Чем больше прижим – тем меньше зазор между ножами, что, в свою очередь, обеспечивает более высокую степень помола. Присадка ротора производится по величине нагрузки на основном электродвигателе мельницы. Для измерения величины нагрузки на электродвигателе установлен датчик тока. Алгоритм работы предусматривает поддержание определенной уставки по нагрузке

в некоторых пределах. В случае, если фактическая нагрузка на основном электродвигателе меньше программной уставки на величину предела и более, то присадочный механизм переходит в режим «Прижим» – включается электродвигатель присадочного механизма, далее отключается при достижении уставки нагрузки.

Для корректной работы механизма разработан ряд блокировок:

1. Режим отжим работает при нахождении вне конечного выключателя.

2. Автоматический отжим переводится в крайнее исходное положение при давлении массы на входе ниже 0,7 бар, и выше 5,5 бар.

3. Быстрый отжим – при превышении мощности главного привода выше номинального значения.

Вторая по значимости величина в системе – это расход массы. Для корректной работы последующих участков производства необходим непрерывный стабильный расход, соответствующий заданному значению. Для поддержания расхода в системе создана большая линия рециркуляции массы, с помощью которой излишки массы можно отправить обратно в бассейн. На выходе бассейна установлен насос для нагнетания массы в мельницы. Расход массы измеряется двумя электромагнитными расходомерами 07FV09 и 07FV07, установленными на выходе системы и линии рециркуляции соответственно. Расход изменяется по принципу дросселирования с помощью двух регулирующих клапанов, установленных рядом с расходомерами и имеющих идентичное обозначение. При превышении уставки расхода на выходе системы клапан 07FV07 прикрывается, тем самым ограничивая поток массы на выходе. В случае, если уставка расхода выше фактического значения, клапан открывается, тем самым увеличивая поток проходящей через него массы.

Третья по значимости величина в системе – давление массы. Давление массы на выходе бассейна необходимо регулировать для поддержания режима «расход/давление», что, в свою очередь, обеспечивает корректную работу нагнетающего насоса (стабильная нагрузка и высокий КПД), а также исключит возможный срыв потока. Для регулирования давления на выходе из бассейна установлена малая линия рециркуляции, на ней установлен регулирующий клапан и датчик давления. При превышении задания по давлению регулирующий клапан будет сбрасывать излишки в бассейн.

Четвертая по значимости величина в системе – концентрация. Концентрация массы важна как на этапе помола волокна, так и на последующих этапах. Для этого предусмотрен узел контроля концентрации, состоящий из датчика концентрации, установленного в трубе, и линии обратной воды с регулирующим клапаном для разбавления массы водой до требуемого значения концентрации (приблизительно 4 %).

Для большей информации о технологическом процессе предусмотрен ряд дополнительных датчиков. Информация с датчиков обрабатывается системой, и при отклонении этих параметров от заданных значений оператор получит предупреждение с описанием проблемы. Это позволяет операторам мгновенно фиксировать отклонения в работе системы и своевременно вызывать оперативный ремонтный персонал. Оперативное обслуживание и ремонт позволят снизить потенциальные риски аварийных ситуаций и простоя оборудования.

Для предотвращения аварийных ситуаций и преждевременного износа оборудования разработана система блокировок пуска и работы ключевых узлов системы. Таким образом, отслеживая дополнительные технологические параметры, система остановит оборудование в случае, если эти отклонения критические.

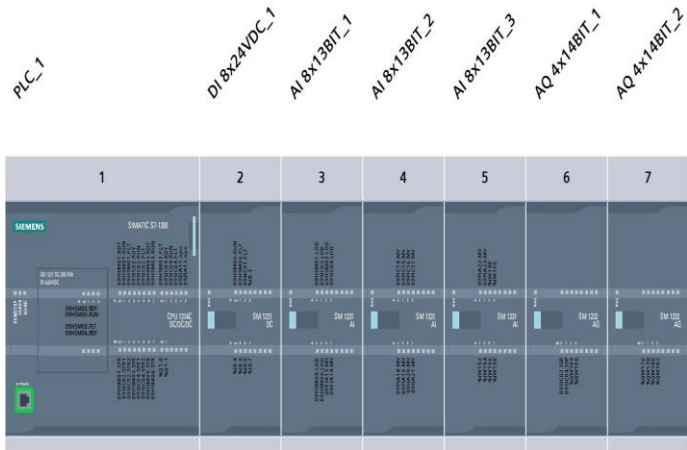


Рис. 3. Общий вид контроллера

Условия работы основного двигателя:

1. Давление уплотнительной воды в мельницах выше давления массы на 1 бар.

2. Проток уплотнительной воды в пределах 2–7 л/мин.
3. Двигатель маслостанции в режиме «работа».
4. Давление подачи массы более 0,7 бар и менее 5,5 бар.

Контроллерный уровень системы реализован на контроллере SIEMENS S7-1200 CPU 1214C (рис. 3). Выбор обоснован высокой степенью интеграции аналогового оборудования в текущее производство и широким функционалом [4].

Для операторского управления установлена стационарная панель SIMATIC HMI KTP 900, на которой отображены все функциональные элементы управления системой и необходимые технологические параметры (рис. 4).

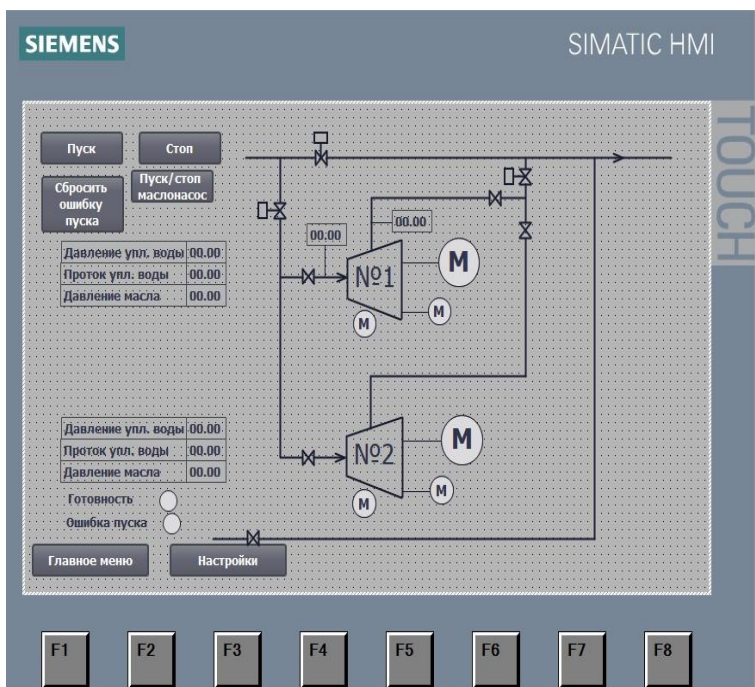


Рис. 4. Панель оператора

При конфигурировании контроллера, написании программных блоков и разработке SCADA системы использовалась интегрированная среда разработки TIA Portal 16, соответствующая концепции Totally Integrated Automation.

Использование предложенной системы размола длинного волокна позволяет повысить качество производимой продукции и производительность бумагоделательной машины, сократить долю использования целлюлозы при производстве бумаги и картона, а также увеличивает объем информации о технологическом процессе для персонала.

Библиографический список

1. Технология и оборудование переработки макулатуры: учеб. пособие / М.В. Ванчков, А.В. Кулешов, А.В. Александров, А.А. Гаузе / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. – Ч. I. – 107 с.
2. Шитов Ф.А. Технология бумаги и картона. учебник. Изд. перераб и доп. – М.: Высшая школа», 1978. – 378 с.
3. Ванчков М.В., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: СПбГТУРП, 2011. – Ч. I. – 99 с.
4. Программируемые контроллеры S7-1200 [Электронный ресурс]. – URL: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:2961db0147fb92fd02c_b65dea800734f8a911ac5/st70-simatic-s7-1200.pdf (дата обращения: 20.05.2021).

Сведения об авторах

Марьин Максим Андреевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-19-1м, г. Пермь, e-mail: superelmarin@yandex.ru

Широков Александр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shirokov@pstu.ru

Д.А. Даденков, А.С. Свитек

СИНТЕЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДДЕРЖАНИЕМ ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Рассмотрены основные этапы синтеза системы управления поддержанием заданной температуры на жарочных поверхностях. Исходными данными к синтезу послужили графики переходных характеристик, полученные экспериментальным путём. Настройка регулятора происходит на аperiodический оптимум, что позволяет избежать перерегулирования в сильно инерционной системе. В конце статьи приведены экспериментальные графики переходных процессов с применением синтезированного регулятора и проведён анализ показателей качества рассмотренных систем.

Ключевые слова: система управления, температура, синтез, аperiodический оптимум, эксперимент, регулятор.

D.A. Dadenkov, A.S. Svitek

SYNTHESIS AND EXPERIMENTAL TESTING OF THE CONTROL SYSTEM FOR MAINTAINING THE SET TEMPERATURE

The article discusses the main stages of synthesis of a control system for maintaining a given temperature on frying surfaces. The initial data for the synthesis were the graphs of the transient characteristics obtained experimentally. The regulator is tuned to an aperiodic optimum, which avoids overshoot in a highly inertial system. At the end of the article, experimental graphs of transient processes with the use of a synthesized controller are given and an analysis of the quality indicators of the considered systems is carried out.

Keywords: control system, temperature, synthesis, aperiodic optimum, experiment, regulator.

В современной бытовой и промышленной технике часто используются нагревательные элементы. Если процесс не ограничивать по мощности, то велика вероятность выхода из строя прибора и риск возникновения пожара. Однако, если постоянно подавать ограниченную мощность, то процесс будет характеризоваться большим временем переходного процесса, что может не удовлетворять требованиям технического задания. Поэтому разработка системы управления, обеспечивающей заданные показатели качества как процесса нагрева, так и поддержания заданной температуры, является актуальной задачей.

Теория автоматического управления располагает достаточно обширной методологией построения систем с регулируемыми на выходе параметрами [1]. Как правило, среда, в которой распространяется тепловая энергия от нагревательного элемента, сильно инерционна. Поэтому регуляторы, реализующие переходную характеристику с большим перерегулированием, в данном случае будут неэффективны. В качестве желаемого переходного процесса наилучшим выбором для подобных объектов управления будет аperiodическое звено первого порядка с малой постоянной времени.

Выбор объекта управления. Одна из подзадач технологического процесса по изготовлению блинных изделий предполагает поддержание заданной пользователем температуры на жарочной поверхности. Для выпекания блинного изделия оптимальной температурой будет 100°C, при условии выпекания на коврике, изготовленном из тефлона из стекловолокна с покрытием.

Объектом управления (ОУ) выступит электроплитка ECON ECO-132HP мощностью 1000 Вт и напряжением питания 220 Вольт. Для измерения значений будем использовать цифровой датчик температуры DS18B20, работающий по интерфейсу 1-Wire. Минимальное время измерения 750 мс.

Определение параметров датчика температуры. Переходные характеристики, полученные экспериментальным путём, сочетают в себе выходной сигнал после ОУ и датчика температуры. Для верной идентификации параметров ОУ сначала необходимо отдельно определить передаточную функцию датчика температуры. Для этого проведём физический эксперимент, где будем измерять температуру кипящей воды, резко опустив водонепроницаемый датчик в жидкость.

По экспериментальному графику, представленному на рис. 1, видно, что процесс имеет аperiodический характер. Передаточный коэффициент датчика k_d будет равен единице, поскольку на выходе имеем действительное значение с задержкой, которую определяет постоянная времени T_d . Она будет равна времени, когда переходный процесс достигнет 63 % от установившегося значения [2].

Так как эксперимент проходил с не нулевыми начальными условиями, то при расчёте постоянной времени это необходимо учесть. Аппроксимировав начало графика степенной функцией, получили, что время, необходимое для достижения начальных условий от нуля, составляет 2 с.

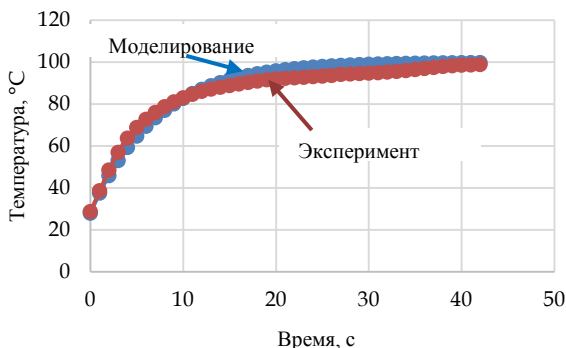


Рис. 1. График переходного процесса датчика температуры

Тогда передаточная функция (ПФ) датчика температуры определится как:

$$W_d(p) = \frac{k_d}{T_d p + 1} = \frac{1}{7p + 1}. \quad (1)$$

Определение параметров объекта управления. Для определения передаточной функции электроплитки проведём физический эксперимент по её нагреву при 30 В переменного напряжения, преобразованного из 220 В посредством схемы на симисторе. Значение установившейся температуры составит 127,94 °С. Для определения коэффициента усиления k_{oy} в установившемся состоянии воспользуемся следующим соотношением:

$$k_{oy} = \frac{y_{уст} - y_{н.у.}}{x} = \frac{127,94 - 25,62}{30} = 3,41, \quad (2)$$

где $y_{уст}$ — установившееся значение выходной координаты, $y_{н.у.}$ — значение при начальных условиях, x — значение входной координаты.

По графику, представленному на рис. 2, видно, что процесс также имеет аperiodический характер изменения. Постоянную времени T_{oy} определим по следующей формуле:

$$T_{oy} = \frac{t_{95\%} + t_{до н.у.}}{3} - T_d = \frac{127,94 \cdot 95\% + 98}{3} - 7 = 489,66 \text{ с}. \quad (3)$$

где $t_{95\%}$ — время достижения температуры 95 % от установившегося значения, $t_{до н.у.}$ — время, необходимое для достижения температуры от 0 до начальной.

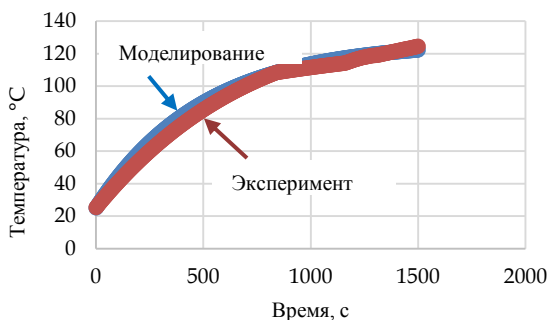


Рис. 2. График переходного процесса системы при моделировании и эксперименте

Методика определения $t_{\text{до н.у.}}$ аналогична рассмотренному выше случаю с датчиком температуры. Наиболее близкой к реальным значениям в диапазоне от 0 до 25,62°C является степенная функция, имеющая вид $y = 2,2938 \cdot x^{0,5119}$. Таким образом, время на достижение начальной температуры при эксперименте составляет 98 с. Тогда ПФ объекта управления примет следующий вид:

$$W_{\text{оу}}(p) = \frac{k_{\text{оу}}}{T_{\text{оу}}p + 1} = \frac{3,41}{489,66p + 1}. \quad (4)$$

Чтобы удостовериться в корректности идентифицированных параметров, промоделируем систему в пакете Matlab/Simulink, собрав схему, представленную на рис. 3.

В качестве задающего воздействия, как и в физическом эксперименте, будем подавать на ОУ 30 В с помощью исполнительного механизма – симистора с очень малой постоянной времени, а влияние окружающей среды учтём путём добавления возмущающего воздействия. Для наглядного сравнения результата моделирования и экспериментальных данных, совместим два графика на одной плоскости, представленной на рис. 2.



Рис. 3. Структурная схема моделирования ОУ

По результатам моделирования можно судить об успешной идентификации параметров объекта управления и датчика температуры. График переходного процесса при моделировании идентичен тому, который был получен экспериментальным путём, с небольшими отклонениями, допустимыми в рамках данной задачи.

Выбор метода синтеза и определение параметров регулятора.

Существуют различные способы синтеза корректирующих устройств, которые из-за сложности проводимых расчётов на практике не всегда используют. Поэтому остановимся на методе получения ПФ регулятора по передаточной функции желаемого переходного процесса замкнутой САУ. Тогда желаемая ПФ разомкнутого контура будет иметь следующий вид:

$$W_{\text{ж}}(p) = \frac{k_{\text{ж}}}{T_{\text{ж}}p + 1} = \frac{1}{20p + 1}. \quad (5)$$

Сначала рассчитаем ПФ замкнутого контура САУ с отрицательной обратной связью, структурная схема которого представлена на рис. 4. Тогда ПФ замкнутой системы определится следующим образом:

$$W_{\text{зам.сист.}}(p) = \frac{W_{\text{пер}}(p) \cdot W_{\text{oy}}(p) \cdot W_{\text{с}}(p)}{1 + W_{\text{пер}}(p) \cdot W_{\text{oy}}(p) \cdot W_{\text{д}}(p) \cdot W_{\text{с}}(p)}. \quad (6)$$

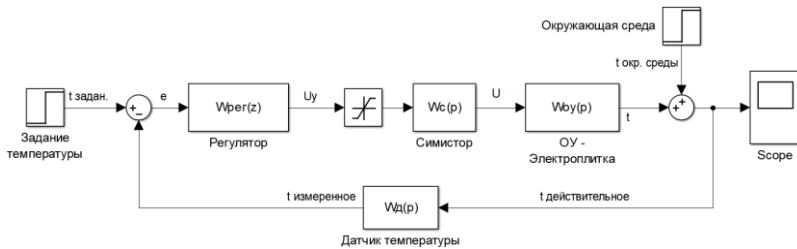


Рис. 4. Структурная схема САУ

Затем приравняем передаточные функции замкнутой системы $W_{\text{зам.сист.}}(p)$ и передаточную функцию желаемого переходного процесса $W_{\text{ж}}(p)$. После преобразования получим:

$$W_{\text{пер}}(p) = \frac{\frac{k_{\text{ж}}}{T_{\text{ж}}p + 1}}{\frac{k_{\text{с}}}{T_{\text{с}}p + 1} \cdot \frac{k_{\text{oy}}}{T_{\text{oy}}p + 1} \cdot \left(1 - \frac{k_{\text{д}}}{T_{\text{д}}p + 1} \cdot \frac{k_{\text{ж}}}{T_{\text{ж}}p + 1}\right)}. \quad (7)$$

Затем преобразуем полученное выражение в более удобную форму для задания коэффициентов при моделировании:

$$W_{\text{пер}}(p) = \frac{a_1 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p + a_4}{b_1 \cdot p^3 + b_2 \cdot p^2 + b_3 \cdot p + b_4}, \quad (8)$$

где коэффициенты определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} a_1 &= k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{д}} \cdot T_{\text{оу}} \cdot T_{\text{ж}}, \\ a_2 &= k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{д}} \cdot T_{\text{оу}} + k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{оу}} \cdot T_{\text{ж}} + k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{д}} \cdot T_{\text{ж}}, \\ a_3 &= k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{оу}} + k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{д}} + k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{ж}}, \\ a_4 &= k_{\text{ж}}, \\ b_1 &= k_{\text{оу}} \cdot T_{\text{ж}}^2 \cdot T_{\text{д}}, \quad b_2 = k_{\text{оу}} \cdot T_{\text{ж}} \cdot T_{\text{д}} + k_{\text{оу}} \cdot T_{\text{ж}}^2 + k_{\text{оу}} \cdot T_{\text{д}} \cdot T_{\text{ж}}, \\ b_3 &= k_{\text{оу}} \cdot T_{\text{ж}} + k_{\text{оу}} \cdot T_{\text{д}} + k_{\text{оу}} \cdot T_{\text{ж}} - k_{\text{оу}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{ж}} \cdot T_{\text{ж}}, \\ b_4 &= k_{\text{оу}} - k_{\text{оу}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{ж}}. \end{aligned}$$

Так как регулятор в последующем планируется реализовать на микропроцессоре, работающем в дискретном режиме, то для перехода из плоскости p в область z воспользуемся наиболее точным из приближённых методов – подстановкой Тастина:

$$p = \frac{2}{T_0} \cdot \frac{z - 1}{z + 1}. \quad (9)$$

Тогда передаточная функция регулятора примет следующий вид (10):

$$W_{\text{пер}}(z) = \frac{M(z)}{D(z)} = \frac{c_1 \cdot z^3 + c_2 \cdot z^2 + c_3 \cdot z + c_4}{d_1 \cdot z^3 + d_2 \cdot z^2 + d_3 \cdot z + d_4}, \quad (10)$$

где коэффициенты определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} c_1 &= 8a_1 + 4a_2T_0 + 2a_3T_0^2 + a_4T_0^3, \\ c_2 &= -24a_1 - 4a_2T_0 + 2a_3T_0^2 + 3a_4T_0^3, \\ c_3 &= 24a_1 - 4a_2T_0 - 2a_3T_0^2 + 3a_4T_0^3, \\ c_4 &= (-8a_1 + 4a_2T_0 - 2a_3T_0^2 + a_4T_0^3), \\ d_1 &= 8b_1 + 4b_2T_0 + 2b_3T_0^2 + b_4T_0^3, \\ d_2 &= -24b_1 - 4b_2T_0 + 2b_3T_0^2 + 3b_4T_0^3, \\ d_3 &= 24b_1 - 4b_2T_0 - 2b_3T_0^2 + 3b_4T_0^3, \\ d_4 &= -8b_1 + 4b_2T_0 - 2b_3T_0^2 + b_4T_0^3. \end{aligned}$$

Результаты моделирования системы с синтезированным регулятором, а также его экспериментальной апробации представлены на рис. 5.

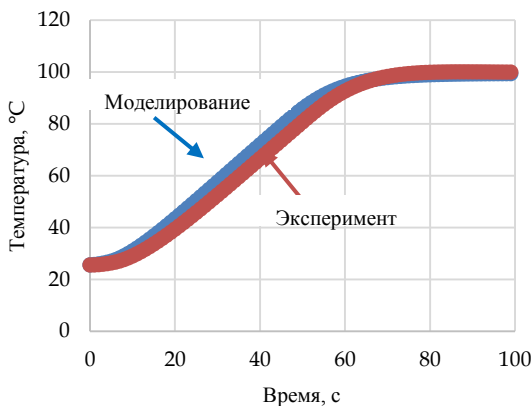


Рис. 5. Графики переходных процессов при моделировании и эксперименте

Сравнение показателей качества систем. Проведём сравнительный анализ систем, представленных ранее. Результаты показателей качества сведены в таблицу.

Сравнительная таблица показателей качества систем

Наименование	$t_{\text{шт}}, \text{с}$	$\sigma, \%$	$e(\infty), \%$
Моделирование без регулятора	2110,6	0	0,003
Моделирование с регулятором	81,6	0	0,033
Физический эксперимент	72	0,237	0,142

При моделировании в обеих системах наблюдается отсутствие перерегулирования. В реальной физической системе перерегулирование присутствует, но в допустимых пределах. Установившаяся ошибка регулирования присутствует во всех системах, однако наибольшая у физической системы, но она также находится в допустимых пределах. Благодаря регулятору удалось более чем в 30 раз снизить время переходного процесса.

Заключение. Идентификация параметров датчика температуры и объекта управления – электроплитки – прошла успешно, так как графики, полученные экспериментальным путём, совпадают с ком-

пьютерным моделированием. Синтезированный регулятор по желаемой передаточной функции отлично справляется со своей задачей, что подтверждается не только моделированием, но и экспериментальным путём. В дальнейшем планируется создание полноценного программно-аппаратного комплекса, позволяющего в автоматическом режиме идентифицировать параметры объектов реального мира и осуществлять подбор оптимальных регуляторов.

Библиографический список

1. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.
2. Шихов А.А. Синтез цифровых регуляторов, обеспечивающих желаемый переходной процесс замкнутой системой автоматического управления // Новости науки и технологий. – 2015. – № 3(34).

Сведения об авторах

Даденков Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dadenkov@mail.ru

Свитек Антон Станиславович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-17-16, г. Пермь, e-mail: antoxa.svitek@mail.ru

А.А. Пасынкова, Д.К. Елтышев

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБНОВЛЕНИЯ АДРЕСНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Рассматривается проблема автоматизации процесса обновления адресной базы данных. Проводится анализ существующего процесса обновления базы данных и приводятся результаты разработки алгоритма для его автоматизации. Использование разработанного алгоритма позволит сократить временные затраты разработчиков компании, что увеличит эффективность их работы по основным задачам.

Ключевые слова: база данных, бизнес-процесс, Федеральная информационная адресная система, данные, обновление, алгоритм.

A.A. Pasyunkova, D.K. Eltyshv

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR AUTOMATION OF UPDATING THE ADDRESS DATABASE

This article discusses the problem of automating the process of updating the address database. The analysis of the existing process of updating the database is carried out and the results of the development of an algorithm for its automation are presented. The use of the developed algorithm will reduce the time spent by the company's developers, which will increase the efficiency of their work on the main tasks.

Keywords: database, business process, Federal information address system, data, update, algorithm.

Время является одним из самых важных ресурсов, поэтому использование средств автоматизации бизнес-процессов предприятий, позволяющих снизить трудоемкость и продолжительность выполнения задач, а также увеличить эффективность работы сотрудников и предприятия в целом, является актуальной проблемой.

В настоящее время необходимость регулярно обновлять свою собственную адресную базу данных (БД) на основе информации, получаемой из Федеральной информационной адресной системы (ФИАС), существует у широкого спектра компаний и организаций. Рассмотрим данную потребность на примере компании «ЭР-Телеком Холдинг».

В текущем варианте процесс обновления адресной БД осуществляются в ручном режиме, что является неэффективным использованием ресурсов компании, поскольку процедура обновления занимает значительное количество времени и ресурсов разработчиков, уменьшая их эффективность в решении своих основных задач.

Схема описания процесса обновления БД в компании с помощью нотации Business Process Management Notation (BPMN) [1] представлена на рис. 1.

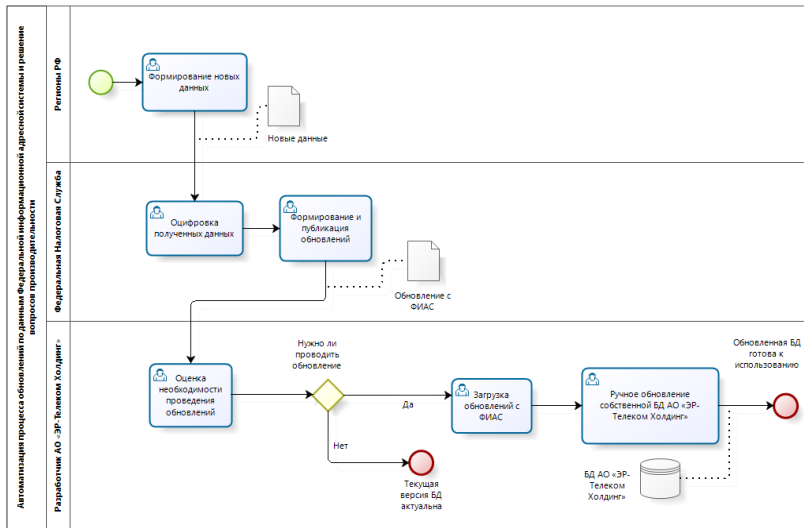


Рис. 1. Схема бизнес-процесса «как есть»

Изначально регионы Российской Федерации формируют новые данные и отправляют их в Федеральную налоговую службу (ФНС), где происходит фильтрация данных и оформление единого документа с последующей публикацией на сайте ФИАС. На портале ФИАС выгружаются актуальные и исторические сведения, а также технологически удаленные из БД ФИАС. Данные выгружаются в виде таблиц DBF и файлов XML. Вместе с полной базой ФИАС выгружаются дельта данные – новые, изменившиеся и удалённые сведения с момента предыдущей выгрузки базы [2].

Разработчик компании проверяет наличие нового обновления и при необходимости загружает его в формате DBF с сайта ФИАС. После этого разработчик в ручном режиме обновляет собственную

БД компании. Вся процедура занимает значительное количество времени, так как объём информации, содержащийся в обновлениях, достаточно большой.

Оптимизация процесса обновления адресной БД новыми данными с ФИАС с помощью нотации BPMN изображена на рис. 2.

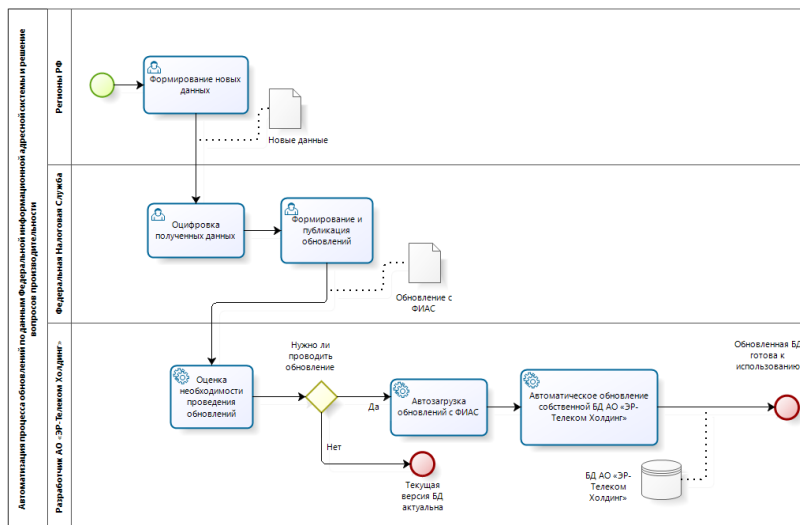


Рис. 2. Схема бизнес-процесса «после»

Предлагаемое решение основывается на разработке алгоритма, который будет в автоматическом режиме определять необходимость обновления БД и загружать архив, содержащий файлы с обновлениями, с сайта ФИАС. Сама процедура обновления собственной адресной БД компании также будет осуществляться автоматически, что позволит сэкономить временные и денежные ресурсы компании.

Для реализации предлагаемого решения выбрано следующее программное обеспечение (ПО):

1. Система управления базами данных (СУБД) – Oracle, как система с наибольшей скоростью работы с большими данными, высокой надежностью и функциональностью, а также положительным опытом использования в компании.
2. Среда разработки на языках SQL и PL/SQL – Oracle SQL Developer, как среда разработки с наименьшей стоимостью и высокой скоростью работы.

3. Язык программирования для реализации скрипта обработки, получения и отправки данных – Python, как язык программирования с наибольшей распространенностью и низкой сложностью освоения.

4. Среда разработки на языке Python – PyCharm, как среда разработки с наименьшей стоимостью и сложностью освоения, и высокой скоростью работы и функционалом.

Для демонстрации выполнения алгоритма используется диаграмма последовательности, изображённая на рис. 3 [3, 4].

Изначально из БД компании запрашивается список обновлений у метода проверки обновлений, чтобы узнать установленные обновления. Далее этот метод запрашивает дату последнего доступного обновления с сайта ФИАС и, получая ее, делает вывод о том, есть ли необходимость в обновлении. В случае, когда доступно новое обновление, со стороны компании запускается метод загрузки и распаковки, который загружает сайт ФИАС в оперативную память и скачивает архив zip с DBF файлами обновлений. Далее происходит чтение DBF файлов с обновлениями и загрузка данных в массив Date Frame, после чего из этих данных формируются SQL запросы и загружаются в БД компании. В завершении у метода проверки обновлений запрашивается список обновлений, чтобы удостовериться в корректном обновлении собственной адресной БД компании.

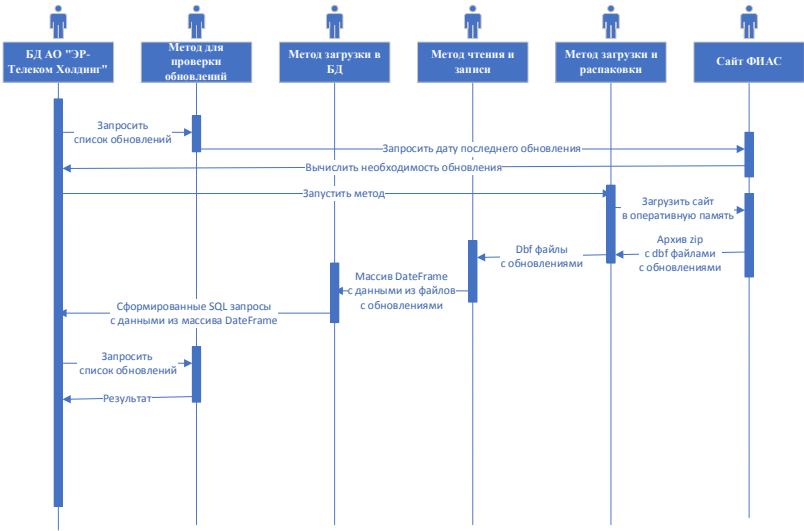


Рис. 3. Диаграмма последовательности

При реализации алгоритма с помощью языка программирования Python написан соответствующий скрипт, фрагмент которого представлен ниже [5]:

```
def download () :
    f = open(ROOT_DIR + r'/fias_delta_dbf.zip',
"wb")
    #if need to change the link
    url = parse_last_link(dls)
    #url = parse_specific_link(dls)
    ufr = requests.get(url)
    date      =      re.findall(r"\d{4}.\d{2}.\d{2}",
str(url))
    print(url)
    f.write(ufr.content)
    f.close()
    print("Обновление с сайта фиас загружено")
    return date
```

Функция download загружает по указанной ссылке архив с сайта ФИАС в архив fias_delta_dbf.zip, который расположен в одной папке со скриптом.

Результат выполнения предлагаемого алгоритма представлен на рис. 4 и обеспечивает обновление 15,3 млн записей за 8 ч, что в полтора раза быстрее, чем происходит в компании на текущий момент.

ADDR0B очищена		NAME	SHORTNAME
ADDR0B_BAD очищена	ESTSTATID		
HOUSE очищена	0	Не определено	Не определено
HOUSE_BAD очищена	1	Владение	влд.
STEAD очищена	2	Дом	д.
STEAD_BAD очищена	3	Домовладение	двлд.
MY_ESTSTAT очищена	4	Гараж	г-ж
MY_OPERSTAT очищена	5	Здание	зд.
MY_SOCRBASE очищена	6	Шахта	шахта
MY_STRSTAT очищена	7	Подвал	подв.
https://fias-file.nalog.ru/downloads/2021.05.25/fias_delta_dbf.zip	8	Котельная	кот.
Обновление с сайта фиас загружено	9	Погреб	пб.
Распаковка завершена	10	Объект нез-го стр-ва	ОНС
ADDR0B добавлен в addr0b	strstat обновлен		
HOUSE добавлен в house	eststat обновлен		
STEAD добавлен в stead	operstat обновлен		
ESTSTAT добавлен в my_eststat	socrbase обновлен		
ESTSTAT добавлен в my_eststat	load1 выполнен		
SOCRBASE добавлен в my_socrbase	load2 выполнен		
ESTSTAT добавлен в my_eststat	load3 выполнен		
	load4 выполнен		
	Обновление ФИАС от 2021.05.25 установлено		

Рис. 4. Результат выполнения алгоритма

Изначально временные таблицы очищаются, чтобы можно было записывать в них актуальные данные. Таблицы ADDROB, HOUSE, STEAD содержат информацию об адресном объекте (о здании и о земельном участке). Таблицы ADDROB_BAD, HOUSE_BAD, STEAD_BAD нужны для хранения тех записей, при обновлении которых произошла ошибка, для последующего их анализа. Таблицы MY_ESTSTAT, MY_OPERSTAT, MY_SOCRBASE, MY_STRSTAT содержат информацию о владении, выполнении каких-либо действий, сокращенных и полных наименованиях адресных элементов и о признаке строения.

Перед загрузкой обновления с сайта ФИАС отображается ссылка на скачиваемый архив, а после – уведомление о том, что обновление загружено. О факте распаковки архива также говорит соответствующее уведомление.

В процессе добавления записей во временные таблицы возможен просмотр информации о том, что уже было загружено. Вывод содержимого ESTSTAT необходим для контроля корректно установленной кодировки. Также существуют уведомления об обновлении временных таблиц. После успешного выполнения обновления адресной базы данных выводится сообщение с информацией о дате архива, который был установлен. Все уведомления нужны для режима отладки.

Закключение. Проведен анализ процесса обновления адресной БД и предложен алгоритм проведения указанной процедуры в автоматическом режиме, что позволит сократить временные затраты разработчиков и увеличить эффективность их работы по основным задачам. Таким образом, разработанный алгоритм приведет к оптимизации внутренних бизнес-процессов и снижению расходов компании.

Библиографический список

1. Худякова Е.В., Бондаренко А.М., Качанова Л.С. Моделирование бизнес-процессов на предприятиях АПК: учебник. – СПб.: Лань, 2020. – 172 с.
2. Федеральная информационная адресная система // О ФИАС. – URL: <https://fias.nalog.ru/FiasInfo> (дата обращения: 07.05.2021).
3. Флегонтов А. В., Матюшичев И.Ю. Моделирование информационных систем. Unified Modeling Language: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2019 – 112 с.

4. Маран М.М. Программная инженерия: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2018. – 196 с.

5. Хейдт М., Груздев А.В. Изучаем pandas. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 682 с.

Сведения об авторах

Пасынкова Александра Алексеевна – бакалавр Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-17-16, г. Пермь, e-mail: pasinkova42@gmail.com

Елтышев Денис Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации», Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: eltyshev@msa.pstu.ru

Д.А. Даденков, Е.В. Артемов

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Во многих производственных процессах на предприятиях используются системы управления частотно-регулируемым электроприводом. От правильно разработанной и настроенной системы управления напрямую зависят качество выпускаемой продукции и срок службы оборудования. В данной статье будет описана разработка имитационной модели и системы управления в LabVIEW на базе микроконтроллера myRIO и представлены результаты моделирования, полученные на стенде.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод, моделирование, двигатель постоянного тока, асинхронный двигатель, система автоматического регулирования.

D.A. Dadenkov, E.V. Artemov

DEVELOPMENT OF A STAND FOR ADJUSTMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL SYSTEMS WITH A FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE

Variable Frequency Drive control systems are used in many manufacturing processes in factories. The quality of the products and the service life of the equipment directly depend on a properly designed and tuned control system. This article will describe the development of a simulation model and control system in LabVIEW based on the myRIO microcontroller and present the simulation results obtained at the stand.

Keywords: variable frequency drive, simulation, dc motor, asynchronous motor, automatic control system.

На данном этапе развития техники стали повсеместно применяться системы с частотно-регулируемым электроприводом, так как он обеспечивают высокую надежность и бесперебойность работы технологических процессов во многих отраслях промышленности.

Современные преобразователи частоты с микропроцессорным управлением позволяют реализовывать традиционные или создавать новые программные алгоритмы и синтезировать частотно-регулируемый электропривод с широким набором эксплуатационных харак-

теристик, что позволяет удовлетворить требования, которые накладываются со стороны различных технологических объектов [1].

Объект исследования представляет собой стенд на базе ПЧ-АД (рис. 1). Основными составными частями являются: преобразователь частоты, асинхронный двигатель, тиристорный преобразователь и двигатель постоянного тока. С помощью двигателя постоянного тока создается (имитируется) нагрузка на асинхронный двигатель, как в реальных процессах. Данный стенд можно будет использовать как в учебных целях, так и для настройки САР технологическим процессом с частотно-регулируемым электроприводом.

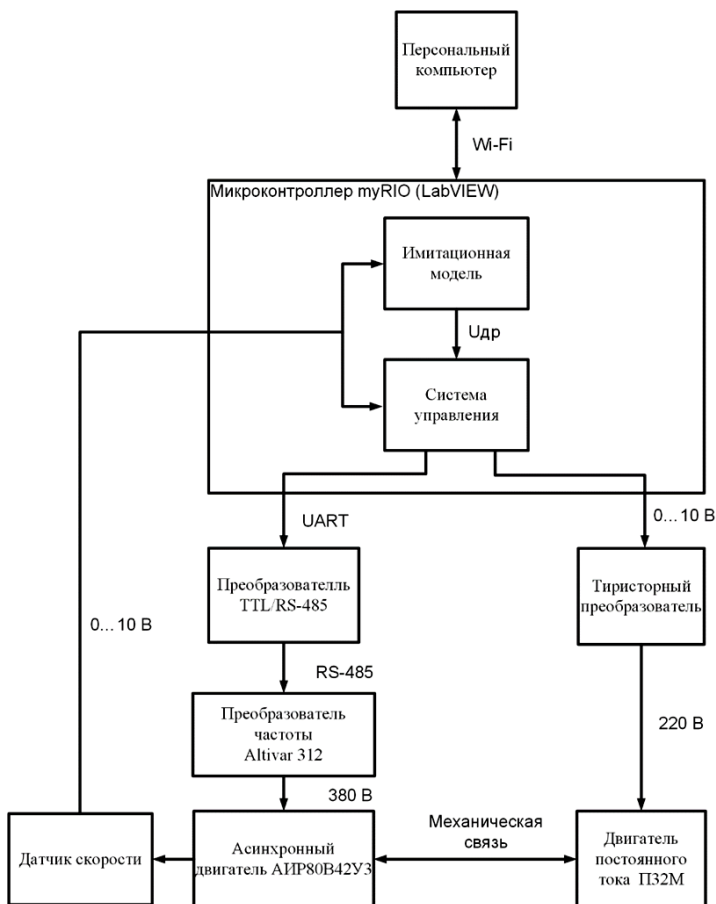


Рис. 1. Структурная схема стенда на базе ПЧ-АД

Для создания имитационной модели был выбран следующий технологический процесс. В соответствии с моделью выбранного технологического процесса был выбран для рассмотрения контур локального регулирования расхода (рис. 2).

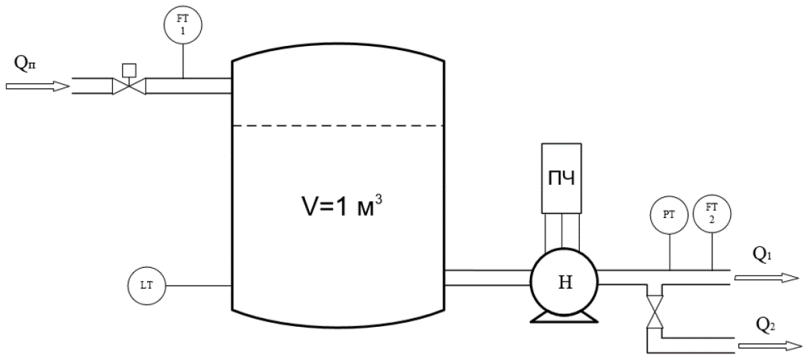


Рис. 2. Технологическая схема процесса

Для разработки имитационной модели использовался прикладной модуль Control Design & Simulation Module, который позволяет производить моделирование динамических систем, используя функциональные возможности программной платформы LabVIEW [2]. В модели имеется возможность изменять параметры передаточных функций объектов во время работы системы. Функционал данного модуля позволяет отображать структурную схему и графики переходных процессов [3].

Разработанная имитационная модель САР расхода с рассчитанным ПИД-регулятором представлена на рис. 3.

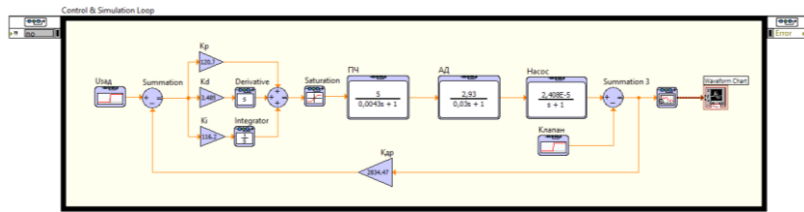


Рис. 3. Имитационная модель САР расхода

Промоделируем и получим график переходного процесса (рис. 4).

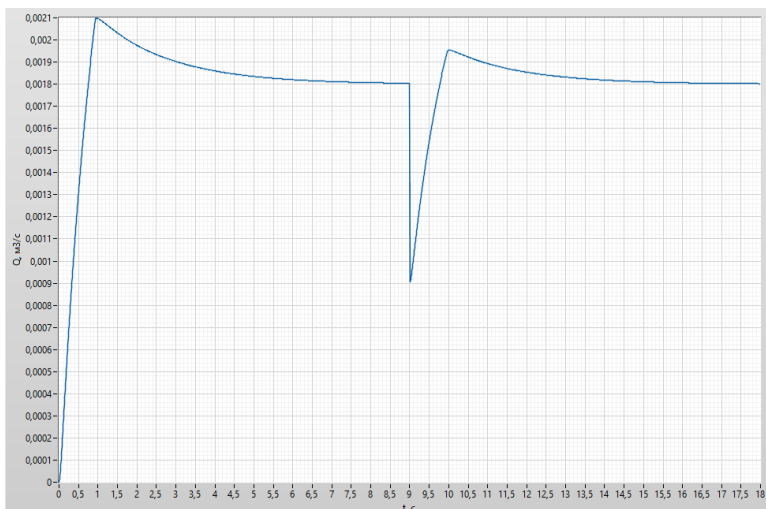


Рис. 4. График переходного процесса САР расхода

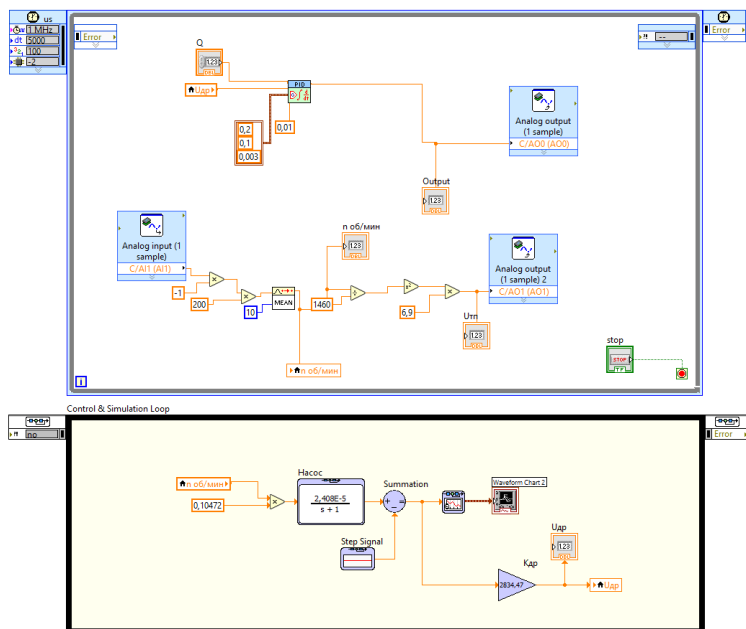


Рис. 5. Система управления для моделирования САР расхода на стенде

Поскольку аналитически полученные результаты основываются на сильно упрощенных моделях объекта, рассчитанный ПИД-регулятор при моделировании на стенде вводил систему в режим автоколебаний. Поэтому для моделирования системы автоматического регулирования расхода на стенде, было принято решение рассчитать ПИД-регулятор по методу Зиглера – Никольса и провести ручную поднастройку.

Для моделирования процесса на стенде была создана следующая система управления (рис. 5).

Результаты моделирования приведены на рис. 6:

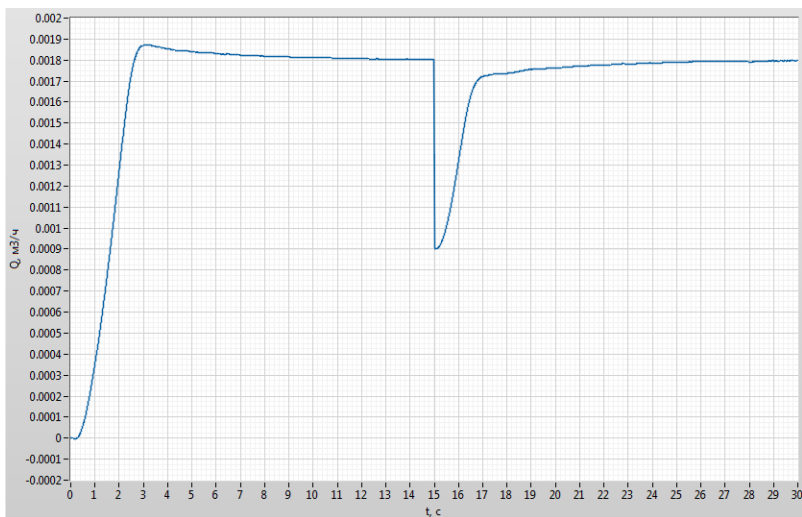


Рис. 6. График переходного процесса, полученный на стенде

Закключение. Был синтезирован и промоделирован локальный контур системы регулирования расхода в имитационной среде LabVIEW. Из-за упрощенного представления модели объекта теоретически рассчитанный ПИД-регулятор оказался неэффективным при проведении испытаний на стенде, что при проведении реальных испытаний на объекте могло вызвать ряд негативных последствий. А так как при моделировании практически любого процесса в моделях допускаются некоторые упрощения, проведение испытаний и настройка системы управления технологическим процессом на стенде может быть весьма эффективна.

Библиографический список

1. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
2. Жуков К.Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 688 с.
3. Учебный курс LabVIEW / П.М. Михеев, С.И. Крылова, В.А. Лукьянченко, Д.С. Урюпина. – М.: МГУ, 2007. – 365 с.

Сведения об авторах

Даденков Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dadenkov@mail.ru

Артемов Ефим Вадимович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-17-16, г. Пермь, e-mail: overperm@gmail.com

О.А. Билоус, А.А. Пропп

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ОБОРУДОВАНИЯ WIREN BOARD

Рассматривается структурная модель автоматизированной системы управления водоснабжением для частного дома на основе оборудования WirenBoard. Осуществлен выбор элементов системы с учетом требования импортозамещения.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, структурная схема, программируемый логический контроллер.

O.A. Bilous, A.A. Propp

AUTOMATED WATER SUPPLY CONTROL SYSTEM BASED ON WIREN BOARD EQUIPMENT

A structural model of an automated water supply control system for a private house based on WirenBoard equipment is considered. The selection of system elements was carried out taking into account the requirements of import substitution.

Keywords: automated control system, structural scheme, programmable logic controller.

Современное здание сложно представить без инженерных систем, которые представляют собой совокупность элементов коммуникаций и инженерного оборудования, используемых для проживания людей в безопасных условиях или для повышения условий труда. Элементами таких систем являются: водоснабжение, отопление, видеонаблюдение, газоснабжение и электроснабжение и многое др. Инженерные системы выполняют функцию обеспечения здания требуемыми ресурсами.

По принципу подачи воды системы водоснабжения в здание, данные системы принято разделять на централизованные и децентрализованные, т.е. локальные. Для оптимального регулирования технологических процессов, чтобы достичь требуемой функциональности, комфорта и для повышения безопасности пользователей в случае возникновения аварийных ситуаций, данные системы требуют внедрения систем автоматического управления.

Основу современной электроники для промышленной и домашней автоматизации России составляет зарубежное оборудование, что ведет к удорожанию и невозможности замены элементов системы аналогами, что ведет к простоям при возникновении неисправностей, и зарубежное программное обеспечение не всегда бывает с открытым исходным кодом. Вследствие этого автоматизированные системы управления сильно зависят от зарубежных технологий и оборудования, что мешает адаптировать системы под требуемые условия. Под влиянием данных факторов использование данного оборудования и программного обеспечения несет отрицательный результат для полноценной и эффективной работы системы, и появляется необходимость в частичном, а иногда и в полном импортозамещении оборудования.

Разрабатываемая система автоматизации на основе оборудования WirenBoard снижает расход энергетических ресурсов, необходимых для обеспечения водоснабжения, повышает эффективность работы инженерной системы в условиях аварийных ситуаций, минимизирует и оптимизирует затраты [1]. Это положительно сказывается на безопасности функционирования здания, делает пребывание в нем более комфортным за счет улучшенного контроля над давлением и напором в системе водоснабжения, а также решает ряд проблем с импортозамещением.

Проектируемая автоматизированная система управления водоснабжением характеризуется рядом требований:

- давление воды в системе должно быть постоянно вне зависимости от количества активных потребителей воды;
- система водоснабжения должна обеспечивать установленное оборудование требуемым расходом воды;
- система водоснабжения должна обеспечивать давление холодной воды в системе на уровне 0,3–6 атм. с погрешностью не более 0,01 атм. для самого высокого потребителя воды и 0,3–6 атм. для горячей воды [2];
- прекращение подачи воды в систему, оборудованную водоразборной арматурой, в случае возникновения протечек в помещениях;
- наличие в системе независимого от электроэнергии режима работы.

На рисунке представлена структурная схема автоматизированной системы водоснабжения полностью на отечественном оборудовании.

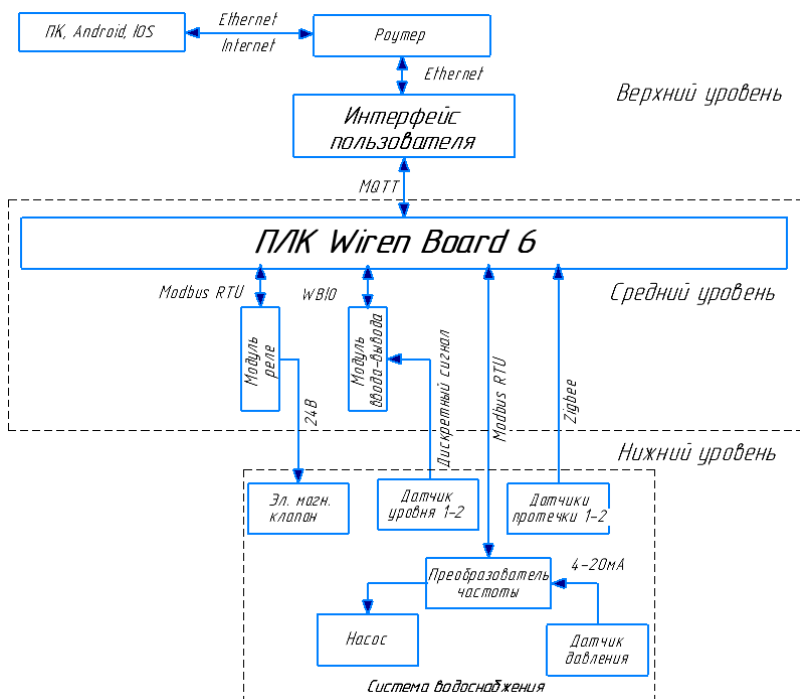


Рис. Структурная схема автоматизированной системы управления водоснабжением

Чтобы соответствовать необходимым требованиям, предъявляемым к системе, должны регулироваться вышеперечисленные технологические переменные.

АСУ должна являться целостным решением для всех систем коммуникаций объекта. В соответствии с этим структура АСУ должна предусматривать три уровня:

- нижний (полевой) уровень – уровень исполнительных механизмов и датчиков;
- средний (контроллерный) – центральный ПЛК АСУ Wiren Board 6;
- верхний (операторский) – пользовательский интерфейс взаимодействия с системой АСУ [3].

Операторский уровень должен представляться интерфейсом взаимодействия между АСУ и пользователем. Последнему должен быть предоставлен удаленный доступ к изменению величин задаю-

щих сигналов. Через приложение пользователя для смартфона или ПК следует реализовать доступ к интерфейсу АСУ.

Между подсистемами и операторским уровнем информационный обмен внутри подсистем по возможности должен осуществляться посредством цифровых протоколов обмена информацией. Ввиду возможных сложностей, вызванных прокладкой проводных линий связи, при выборе средств коммуникации преимущество следует отдавать беспроводным протоколам обмена данными.

Система автоматизации должна иметь возможность для дальнейшего расширения в соответствии с используемым оборудованием, а также должна быть спроектирована по возможности с учетом современных технологий.

В системе автоматизации используется оборудование, произведенное в Российской Федерации. Wiren Board – это контроллер с открытым программным обеспечением (ПО), разработанный в Москве, представляющий собой микрокомпьютер на базе Linux. Контроллер настраивается через web-интерфейс. У Программируемого логического контроллера (ПЛК) есть интерфейсы, список которых меняется в зависимости от опций при заказе: Ethernet (он всегда есть), Wi-Fi, Z-Wave, CAN, Bluetooth, 1-wire, HDL, 4G модем. На контроллере два интерфейса RS-485.

Система в основном построена на шине Modbus RS-485. В реальных модулях системы есть огромный плюс – они имеют как выходы (реле), так и входы. Возможна работа напрямую выходов от входов, например, при нажатии на выключатель реле срабатывают сразу, даже если отсутствует связь с контроллером, но сложные алгоритмы работы идут только через контроллер.

К ПЛК присоединяются модули расширения, модули дискретного ввода, аналогового ввода, аналогового вывода, резервного питания, модули реле. На рисунке – модуль реле WB-MR6, способных выдерживать нагрузки до 16 А, по протоколу Modbus, модуль ввода-вывода WBIO-DI-WD-14 для ввода дискретных сигналов, подключения датчиков с выходом «сухой контакт» с 14 выходами, по протоколу Modbus. Есть платы, которые можно поставить внутрь самого контроллера, добавив ему какой-то функционал: порт RS-485, RS-232, 1-wire, CAN, Zigbee. На присоединенных напрямую к контроллеру модулях входы и выходы работают без задержки, но их количество ограничено.

К Wiren Board 6 возможно подключать устройства по Modbus любых производителей, самостоятельно написав драйвер, в этом ограничений нет. В отличие от прочих контроллеров есть библиотеки с базовыми конструкциями для написания драйверов.

Таким образом, данная разрабатываемая система позволит снизить расходы энергетических ресурсов, необходимых для обеспечения водоснабжения, повысит эффективность работы инженерной системы в условиях аварийных ситуаций, минимизирует и оптимизирует затраты, а также сделает пребывание в здании более комфортным за счет улучшенного контроля над давлением и напором в системе. При использовании российского оборудования Wiren Board решаются проблемы с импортозамещением.

Библиографический список

1. Н. Лыков, Р.В. Катаев. Микропроцессорные средства автоматизации энергетических систем: учеб. пособие: в 2 ч. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 531 с.

2. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий [Электронный ресурс]. – URL: <http://sniprf.ru/razdel-2/2-04-01-85> (дата обращения: 07.05.2021).

3. Казанцев В.П. Системы управления исполнительными механизмами: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 274 с.

Сведения об авторах

Билоус Ольга Анатольевна – доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: bilous_oa@pstu.ru

Пропп Артем Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-17-16, г. Пермь, e-mail: propp99999@gmail.com

А.Б. Федоров, И.А. Чазов, И.В. Полуйко

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕСС-ВАКУУМНОЙ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Проанализирована система для разработки автоматизации процесса сушки и дальнейшего внедрения АРМ оператора пресс-вакуумной сушильной камеры. Разработан графический интерфейс контроллера после автоматизации системы. Представлен пример SCADA-системы после ее внедрения в автоматизированную систему.

Ключевые слова: автоматизация, требования, анализ, оборудование, сушильная камера, АРМ, контроллер.

A.B. Fedorov, I.A. Chazov, I.V. Poloyko

AUTOMATION PRESS VACUUM DRYING CHAMBER

This article discusses the analysis of the system for the development of automation of the drying process and the further implementation of the AWP of the operator of the press-vacuum drying chamber. The graphic interface of the controller was developed after the automation of the system. An example of a SCADA system after its implementation into an automated system is presented.

Keywords: automation, requirements, analysis, equipment, drying chamber, ARM, controller.

Наряду с развитием информационных технологий, мы можем наблюдать применение устаревших методов работы с информацией. Часто это документооборот в каких-либо узких областях деятельности. Если дело не касается бизнеса, где применение современных технологий и методов жизненно важно, то часто дело предпочитают вести по старинке – на бумаге. Даже если компьютер и участвует в процессе, то лишь косвенно, для решения каких-либо совсем тривиальных задач – в качестве калькулятора или для набора документов. При отсутствии автоматизации какого-либо технологического процесса затрачивается большое количество времени на его выполнение, а также падает производительность, что влечет за собой меньшую прибыль.

Сушильный агрегат ПВСК представляет собой герметичную камеру из нержавеющей стали в форме параллелепипеда. Сверху камера закрывается специальным эластичным резиновым покрытием

в металлической рамке. Пресс-вакуумная сушильная камера на производстве служит для сушки изделий из композиционных материалов под вакуумом в $-0,6 \text{ кгс/см}^2$ и при поддержании температуры $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ с гистерезисом в $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$.

В данной системе отсутствует автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, из-за этого оператору приходится каждый раз приходить на место установки либо находиться там на протяжении всего времени и проверять, как идет технический процесс. Данная система не является эффективной, это может быть причиной различных аварийных ситуаций (неоперативного реагирования оператора на аварию); уменьшения производительности продукта, что влечет за собой уменьшение прибыли.

Актуальность данной разработки заключается в точном контроле над управлением входными параметрами, в удобстве мониторинга за счет SCADA-системы, а также в возможности вести запись прошедших технических процессов.

Рассмотрим, каким требованиям должна соответствовать система после автоматизации установки:

- мониторинг за техническим процессом с помощью АРМ;
- удобство работы с другим контроллером как оператору, так и ремонтному персоналу;
- выбранное оборудование, соответствующее правильной работе установки.

На рис. 1 можно увидеть диаграмму деятельности предметной области после использования автоматизированной системы.

АРМ должна предоставлять следующие функции:

- 1) сбора, обработки, хранения и отображения информации о состоянии оборудования;
- 2) сигнализации о нарушении технологического режима.

При выборе контроллера необходимо учитывать его стоимость, среду программирования и его характеристики. Был выбран контроллер ОВЕН ПЛК73.

Для возможности сохранения данных о прошедших технических процессах был выбран архиватор ОВЕН МСД-200.

Главная задача SCADA-систем – это сбор информации о множестве удаленных объектов, поступающей с пунктов контроля, и отображение этой информации в едином диспетчерском центре. Также SCADA-система должна обеспечивать долгосрочное архивирование полученных данных.

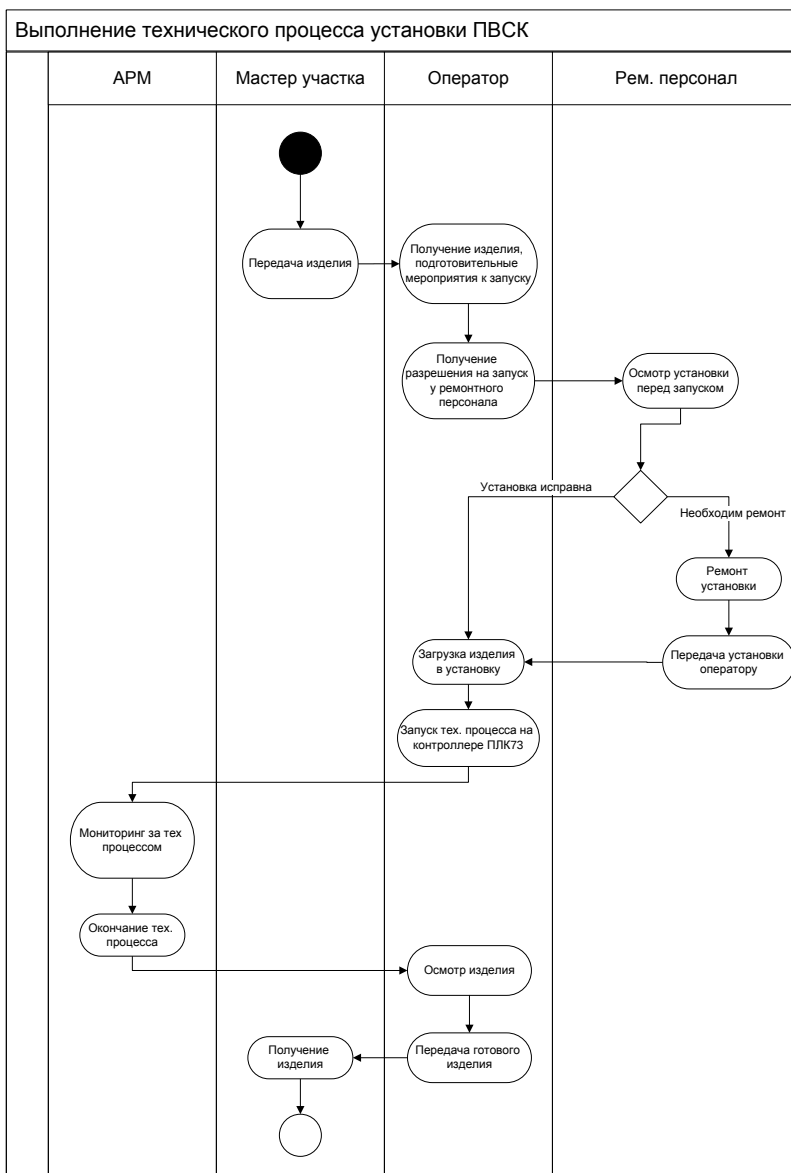


Рис. 1. Диаграмма деятельности после использования автоматизации системы

Диспетчер зачастую обладает возможностью не только пассивно наблюдать за объектом, но и управлять им, реагируя на различные ситуации*. На участке, где, помимо установки ПВСК, находятся еще большинство других установок, используется система LabVIEW, соответственно выбирать будем ее и работать с ней.

В данной статье АРМ будет рассматриваться как пример на уже готовых и работающих установках, АРМ для установки ПВСК будет внедрен в будущий проект. На рис. 2 представлено окно управления установкой SCADA-системы.

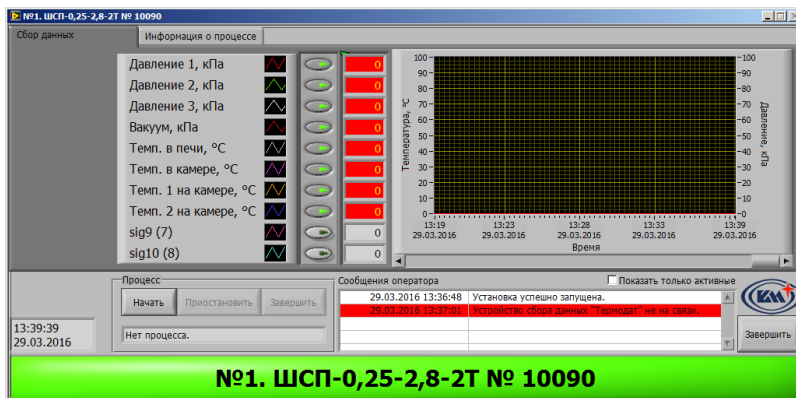


Рис. 2. Окно управления установкой

Для работы оператора непосредственно на установке был разработан графический интерфейс для контроллера ПЛК 73.

Рассмотрены разделы графического интерфейса на контроллере ОВЕН ПЛК 73:

- 1) главное окно контроллера (рис. 3);
- 2) меню выбора программы;
- 3) основные настройки;
- 4) редактирование параметров программы;
- 5) редактирование ПИД коэффициентов;
- 6) раздел активных ошибок;
- 7) архив ошибок.

* SCADA-системы // TADVISER [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:SCADA_назначение_систем (дата обращения: 21.05.2021).



Рис. 3. Главное окно контроллера ОВЕН ПЛК 73

Рассмотрим процесс хранения данных.

Хранение данных будет находиться в архиваторе ОВЕН МСД-200. Каждый месяц создается папка с именем года и месяца, например «2017_01». В папке месяца каждые сутки создается файл с именем (год, месяц, день) и расширением имени *.csv, например «2021_05_14.csv».

В первую строку файла архива записываются имена каналов, установленные пользователем. Каждое из 64 имен определяет столбец данных соответствующего канала архивирования.

Последующие строки начинаются ячейкой, в которой фиксируется время записи строки в формате «ЧЧ:ММ:СС». Далее идут данные 64 каналов, разделенные символом «;».

На рис. 4 представлен пример значений, конвертированных из формата *.csv в формат *.xlsx.

	A	B	C	D	E	F
1	Время	Программа	Температура (C)	Вакуум(кгс/см2)		
2	9:30:25	3	37	-0,2		
3	9:40:25	3	39	-0,25		
4	9:50:25	3	41	-0,3		
5	10:00:25	3	43	-0,35		
6	10:10:25	3	45	-0,4		
7	10:20:25	3	47	-0,45		
8	10:30:25	3	49	-0,5		
9	10:40:25	3	51	-0,55		
10	10:50:25	3	50	-0,6		
11	11:00:25	3	50	-0,6		
12	11:10:25	3	51	-0,6		
13	11:20:25	3	50	-0,6		
14	11:30:25	3	50	-0,6		
15	11:40:25	3	49	-0,6		
16	11:50:25	3	50	-0,6		
17	12:00:25	3	50	-0,6		
18	12:10:25	3	50	-0,6		
19	12:20:25	3	51	-0,6		
20	12:30:25	3	50	-0,6		

Рис.4. Выгрузка значений из архиватора МСД-200

Итак, отражены все важные этапы создания автоматизированной системы процесса сушки на основе необходимых функций системы и требований заказчика.

Сведения об авторах

Федоров Андрей Борисович – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: pstufab@gmail.com

Чазов Илья Анатольевич – начальник лаборатории, г. Пермь, e-mail: uniikm@yandex.ru

Полойко Игорь Вячеславович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-16-1бз, г. Пермь, e-mail: kardenish@gmail.com

А.М. Поздеева, А.Б. Петроченков

МОДЕРНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГПА-16

Предлагается решение для исключения аварийного останова по причине осевого сдвига в центробежном компрессоре газоперекачивающего агрегата. Проведен анализ и модернизация алгоритмов управления режимами работы агрегата.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, компрессор, алгоритм, система автоматизированного управления.

A.M. Pozdeeva, A.B. Petrochenkov

MODERNIZATION OF ALGORITHMS FOR CONTROLLING THE OPERATING MODES OF THE GPU-16

This article offers a solution to avoid an emergency stop due to an axial shift in the centrifugal compressor of the gas pumping unit. The analysis and modernization of algorithms for controlling the operating modes of the unit is carried out.

Keywords: gas pumping unit, compressor, algorithm, automatic control system.

В разработке газовых месторождений выделяют три основных этапа добычи газа: нарастающий, постоянный и падающий. Этап нарастающей добычи начинается уже на стадии разбуривания и обустройства месторождения. После наступает этап постоянной добычи, установленный проведенными технико-экономическими расчетами. Далее наступает этап падающей добычи, характеризующийся снижением уровня добычи из-за уменьшения отдачи газа ниже уровня рентабельности.

В начале разработки имеющегося пластового давления оказывается достаточно для транспортировки газа. Но постепенно пластовое давление снижается, и можно столкнуться с проблемой, при которой текущего давления окажется недостаточно для его подачи в газопровод. В связи с этим для увеличения давления используют дожимные компрессорные станции.

Назначением компрессорных станций является поддержание заданного в трубах магистралей давления газа при перекачке от узла

к потребителю, которое сопровождается снижением пластового давления газа. Газоперекачивающий агрегат ГПА-16ПХГ «Урал» представляет собой технологическую установку блочно-модульного исполнения, предназначенную для сжатия и закачки газа в подземные хранилища.

ГПА состоит из блоков и узлов максимальной заводской готовности, монтаж которых производится на месте эксплуатации. Основной частью ГПА является центробежный компрессор с газотурбинным приводом.

Автоматическое управление, регулирование и контроль ГПА при пуске, работе и останове производится системой автоматического управления (САУ) ГПА. Задание режимов работы и контроль состояния ГПА осуществляет оператор с пульта контроля и управления, расположенного в операторном помещении компрессорной станции (КС) [1].

Для измерения давления, перепада давлений и температуры в трубопроводах подвода и отвода транспортируемого газа на ГПА установлена система контроля газовой магистрали. Параметры, измеренные датчиками системы, используются САУ ГПА для противопомпажного регулирования и защиты компрессора (рис. 1).

Задача повышения надежности и эффективности управления процессами компримирования и транспортировки природного газа в существующих системах управления требует применения комплексного подхода при построении алгоритмов антипомпажного регулирования [4].

Любой центробежный компрессор характеризуется минимальным расходом, дальнейшее уменьшение которого приводит к помпажу – разрушительному для агрегата явлению. Для предотвращения помпажа САУ ГПА предотвращает дальнейшее уменьшение этого минимального расхода путем сброса части рабочей среды в атмосферу или на вход компрессора [2].

Расход рециркулируемой или сбрасываемой рабочей среды регулируется противопомпжным клапаном. Алгоритмы управления обеспечивают безопасную работу путем полного либо частичного открытия антипомпажного клапана в САУ ГПА, разгружая агрегат в случаях, когда нагнетатель выходит на границы допустимых режимов работы по давлению, степени сжатия или запасу по помпажу [3].

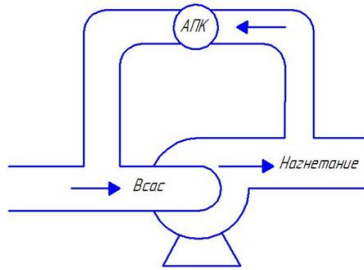


Рис. 1. Схема антипомпажного регулирования нагнетателя

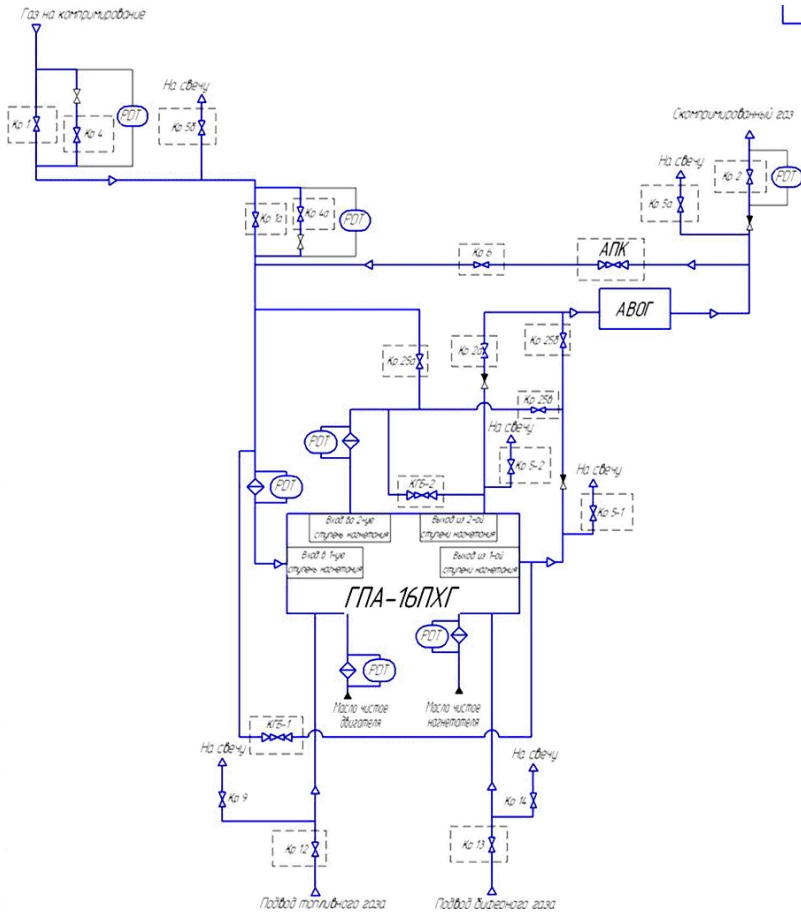


Рис. 2. Схема автоматизации

На агрегате проводятся работы по проверке работоспособности антипомпажного клапана (АПК) с последующей настройкой клапана. Проверка проводится при изменении режима ГПА, переход «Магистраль–Кольцо» и «Кольцо–Магистраль», в ходе проверки клапана выявили замечания по рассогласованию задания с фактическим положением АПК с подклиниванием клапана. Поэтому было принято проводить настройку при работе в режиме «Магистраль» при закрытом кране № 6, при этом настройка проводилась без перепада давления на клапане. Схема автоматизации представлена на рис. 2.

При следующей проверке на перепад давления при закрытом АПК был открыт кран № 6, также ГПА работал в режиме «Магистраль» и обороты силовой турбины были повышены. Была подана команда на открытие АПК, после чего через 5 с произошел аварийный останов ГПА, причиной которому стал аварийный осевой сдвиг ротора компрессора. Так как с каждой проверкой контура ЦБН значение осевого сдвига росло, при этом замечаний в работе узлов выявлено не было, принято решение вывести ГПА в ремонт.



Рис. 3. График трендов с давлением на входе в первой секции агрегата

По результатам анализа трендов (рис. 3, 4) можно сделать выводы, что при открытии АПК сбрасывается большой объем газа на всас, что и вызывает быстрый рост давления на входе в первую секцию компрессора и снижение давления на выходе из второй секции. В результате чего произошли рассогласование перепадов давления первой и второй секции компрессора и возникновение в каждой сек-

ции значительной осевой силы на ротор одного направления и, как следствие, сдвиг упорного подшипника.

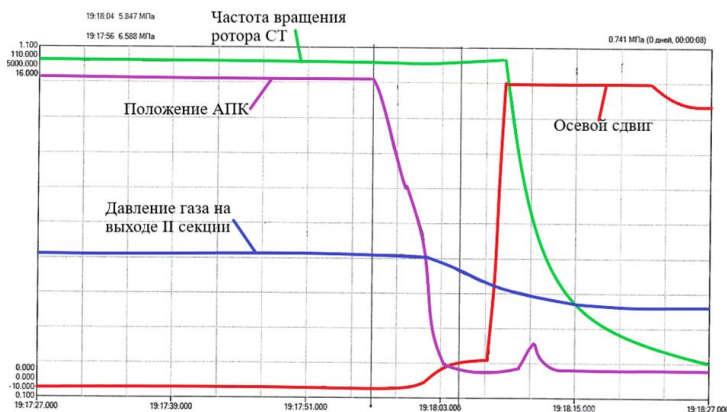


Рис. 4. График трендов с давлением на выходе во второй секции агрегата

Основной причиной аварийного останова (АО) по срабатыванию защиты по осевому сдвигу, при переходе с режима «Магистраль» на режим «Кольцо», является быстрая разгрузка компрессора при открытии АПК, приводящая к перекосу давлений по секциям компрессора и появлению нерасчетной осевой силы.

Для предотвращения АО компрессора по осевому сдвигу требуется ввести в алгоритм управления ограничение скорости открытия АПК с режима «Магистраль» в режим «Кольцо» до 3 %/с [3].

При переходе на «Кольцо» АПК полностью не открывать, чтобы не создавать резкое снижение степени сжатия на выходе второй секции ввиду перепуска больших объемов газа с нагнетания на всас компрессора и таким образом исключить резкое увеличение давления газа на входе в первую секцию. Ограничение скорости открытия АПК до 3 %/с применим только для режима «Переход магистраль–кольцо», к остальным алгоритмам режима работы САУ не относится. Алгоритм представлен на рис. 5.

На режиме АО скорость открытия АПК составит 100 %/с. Работоспособность ГПА при режимах АО со стравливанием и без стравливания, а также на режиме «Экстренный аварийный останов», при которых реализуется резкое раскрытие АПК, обеспечивает одновременное открытие кранов горячего байпаса по секциям I и II, а также снижение частоты вращения ротора СТ при останове ГТД. Открытие

кранов горячего байпаса позволяет исключить перекося давления по секциям и возрастание осевых усилий на упорный подшипник.

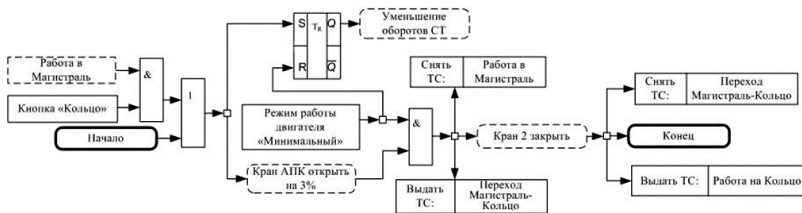


Рис. 5. Функционально-блочная диаграмма («Переход «магистраль–кольцо»»)

Закключение. Таким образом, для предотвращения аварийного останова по осевому сдвигу компрессора была проведена оптимизация существующего алгоритма управления работы режима «Переход магистраль–кольцо» и изменена скорость открытия АПК на 3 %/с, чтобы резко не повышать давление в первой секции.

Библиографический список

1. Комплект технической документации ГПА-16ПХГ «Урал» ГПА-16ПХГ.0000-000РЭ // Руководство по эксплуатации. Ч. 1. – 2013. – 164 с.
2. Система автоматического управления для газоперекачивающего агрегата «Система Комплекс» // Руководство по эксплуатации. - 2012. – 224 с.
3. Система автоматического управления газоперекачивающим агрегатом «Вега-ГАЗ» // Описание антипомпажного регулятора. – 2019. – 60 с.
4. Казанцев В.П. Системы управления исполнительными механизмами: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015.

Сведения об авторах

Поздеева Александра Михайловна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-19-1м, г. Пермь, e-mail: sasha.pozdeewa@mail.ru

Петроченков Антон Борисович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: pab@msa.pstu.ru

А.Д. Дроздова, С.В. Смирнова

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
И СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ
СНЕГОПЛАВИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Статья посвящена мобильной снегоплавильной установке. Рассмотрен принцип работы установки, а также структурно-функциональная схема, временные диаграммы и алгоритм работы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки.

Ключевые слова: установка снегоплавильная, структурно-функциональная схема, канал управления.

A.D. Drozdova, S.V. Smirnova

**DEVELOPMENT OF THE INFORMATION PROCESSING
ALGORITHM AND THE STRUCTURE OF THE INFORMATION
AND MEASUREMENT CONTROL CHANNEL
OF THE MOBILE SNOW MELTING PLANT**

The article is devoted to the mobile snow melting plant. The solution to the problem can be a mobile snow melting plant. The principle of operation of the plant, as well as the structural and functional scheme, time diagrams and the algorithm of the information and measurement control channel of the mobile snow melting plant are considered.

Keywords: snow melting plant, structural and functional scheme, control channel.

Мобильная снегоплавильная установка (патент № 2695676)* предполагает плавление и проведение механической и химической очистки снежных масс, что поможет улучшить экологическую ситуацию. На рис. 1 изображена схема мобильной снегоплавильной установки.

Принцип ее работы состоит в том, что снег помещают в снегоплавильную камеру 1 с термopанелью 2, от нагрева которой он тает.

* Пат. на изобретение №2695676 Российская Федерация. Мобильная снегоплавильная установка / Смирнова С.В., Потапов К.А., Мушарапов Р.Н., Мингазетдинов И.Х. – Оpubл. 25.07. 2019. Бюл. № 21.

Жидкость проходит через решётку 4, таким образом осуществляется очистка от крупного мусора. Когда достигается максимальный уровень жидкости, срабатывает датчик уровня жидкости 5 и на панель управления поступает информация о необходимости открытия клапана слива жидкости. Далее пользователь сам выбирает программу «с очисткой» или «без очистки». Если необходимости в очистке расплавленного снега нет, вода выходит из установки через слив без очистки (электромагнитный клапан 6). Если необходима очистка снега, запускается электропривод 11 гидронасоса 10, который подает загрязненную жидкость через электромагнитный клапан 9 в двухступенчатый гидроциклон-окислитель 12. Через электромагнитный клапан 8 в гидроциклон-окислитель поступает окислитель из баллона 7. Пройдя через гидроциклон, очищенная жидкость выходит из установки через слив с очисткой, а концентрат загрязнителя и продукты его нейтрализации поступают в камеру шлама.

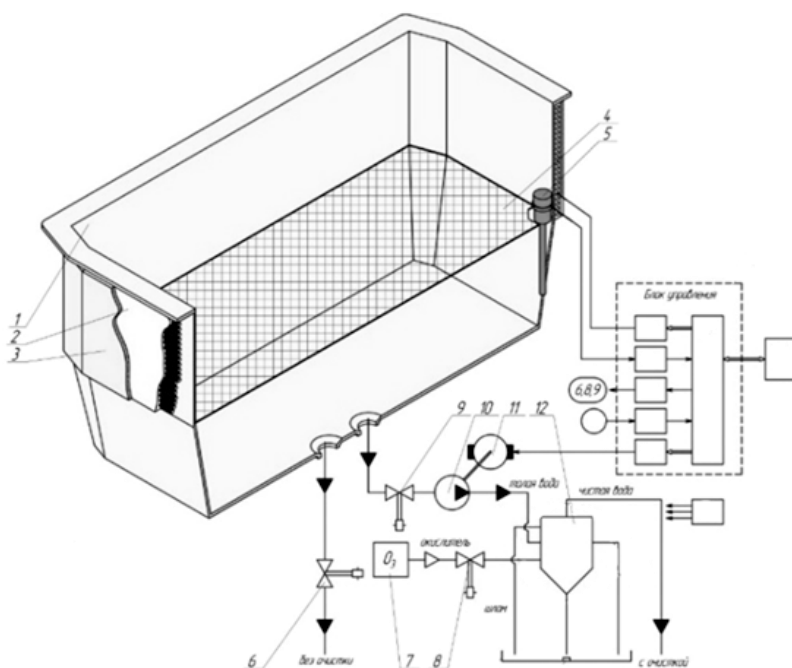


Рис. 1. Схема мобильной снегоплавильной установки

На рис. 2 изображен внешний вид мобильной снегоплавильной установки.

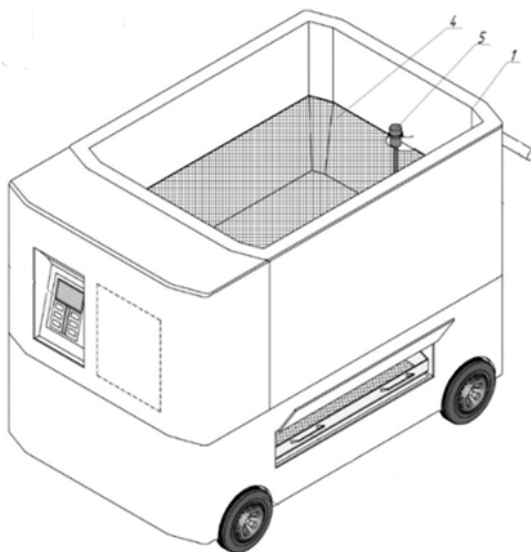


Рис. 2. Внешний вид мобильной снегоплавильной установки

На рис. 3 изображена структурно-функциональная схема (СФУС) информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки. Здесь СФУС – это схема формирования управляющего сигнала, которая включает в себя триггер.

При нажатии кнопки SB1 запускается термopанель (ТП) снегоплавильной камеры. Жидкость заполняет камеру. Когда жидкость достигает максимального уровня, срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ1. На панель управления поступает информация о заполнении камеры, загорается светодиод HL1. Далее пользователь выбирает программу «без очистки» или «с очисткой».

Если необходимости в очистке нет, то нажимается кнопка SB4 и открывается электромагнитный клапан 6. Снегоплавильная камера опустошается. При достижении жидкостью нижнего уровня срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ2, который закрывает клапан 6. На панель управления поступает информация о том, что снегоплавильная камера пуста, о возможности продолжать работу, загорается светодиод HL2.

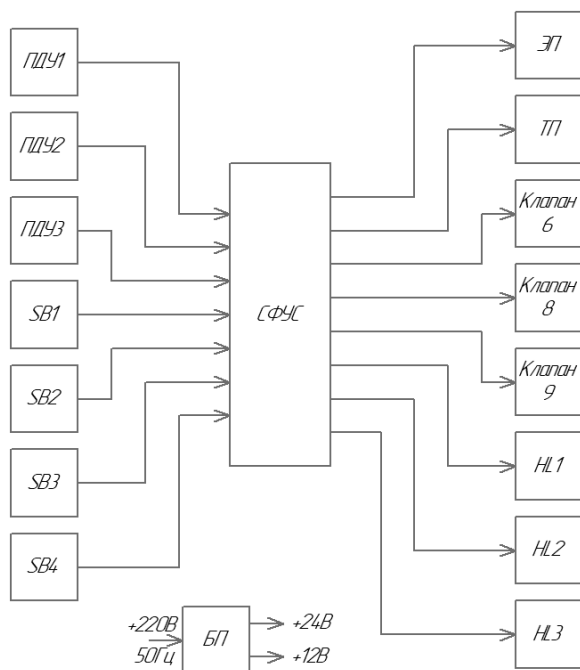


Рис. 3. Структурно-функциональная схема информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установкой

Если необходима очистка расплавленного снега, то нажимается кнопка SB3, открываются клапаны 8 и 9, запускается электропривод (ЭП) гидронасоса. Снегоплавильная камера опустошается. При достижении жидкостью нижнего уровня срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ2, который закрывает клапаны 8 и 9, отключает электропривод гидронасоса. На панель управления поступает информация о том, что снегоплавильная камера пуста, о возможности продолжать работу, загорается светодиод HL2.

В камере шлама расположен поплавковый датчик уровня ПДУ3, который срабатывает при достижении загрязнителем максимального уровня. На панель управления поступает информация о необходимости освободить камеру шлама, загорается светодиод HL3.

На рис. 4 изображены временные диаграммы работы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки.

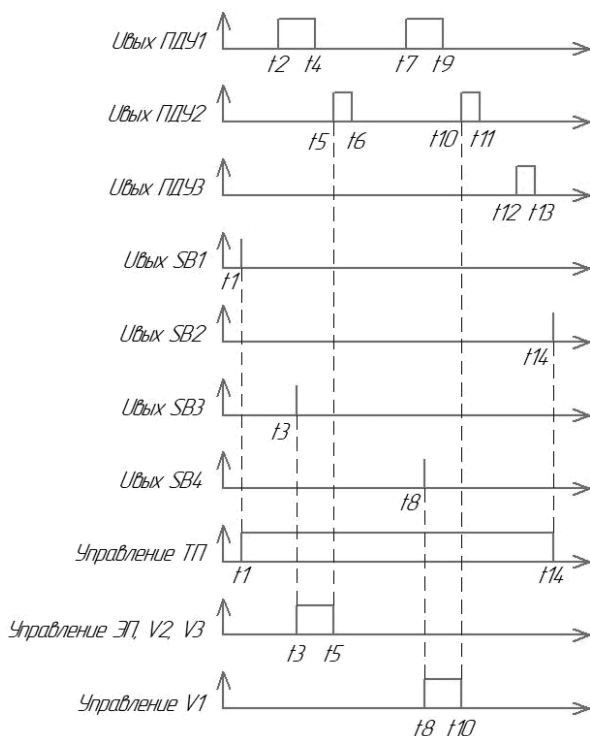


Рис. 4. Временные диаграммы работы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установкой

В момент времени t_1 нажимается кнопка SB1 и запускается термopанель, снегоплавильная камера начинает заполняться. В момент времени t_2 жидкость достигает максимального уровня, срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ1.

В момент t_3 пользователь выбирает программу «с очисткой», запускается электропривод, открываются клапаны V2 и V3. Жидкость сливается, в момент t_4 ПДУ1 перестает сигнализировать. При t_5 жидкость достигает минимального уровня, срабатывает ПДУ2, отключается электропривод, закрываются клапаны V2 и V3.

Снегоплавильная камера снова начинает заполняться, в момент t_6 ПДУ2 перестает сигнализировать. В момент времени t_7 жидкость достигает максимального уровня, срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ1.

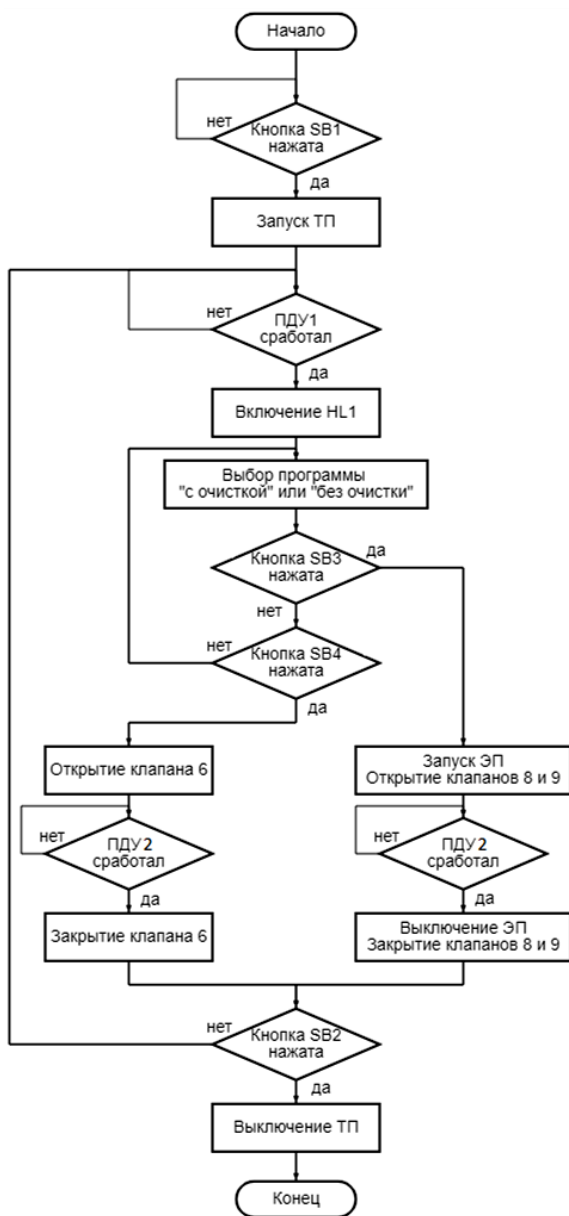


Рис. 5. Блок-схема алгоритма работы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установкой

В момент t_8 пользователь выбирает программу «без очистки», открывается клапан V1. Жидкость сливается, в момент t_9 ПДУ1 перестает сигнализировать. При t_{10} жидкость достигает минимального уровня, срабатывает ПДУ2, отключается электропривод, закрываются клапаны V2 и V3. Снегоплавильная камера снова начинает заполняться, в момент t_{11} ПДУ2 перестает сигнализировать.

В момент времени t_{12} срабатывает ПДУ3, расположенный в камере шлама, сообщает о достижении загрязнителем максимального уровня. В момент t_{13} пользователь опустошает камеру шлама, ПДУ3 перестает сигнализировать.

В момент времени t_{14} нажимается кнопка SB2 и отключается термopанель.

На рис. 5 представлена блок-схема алгоритма работы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установкой. Блок-схема наглядно отображает процесс обработки информации.

Таким образом, в данной работе разработана структурная схема информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки, рассмотрен его принцип действия. А также представлены и подробно описаны временные диаграммы и алгоритм работы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установкой.

Сведения об авторах

Дроздова Анастасия Дмитриевна – студент Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, e-mail: anastasiya-kuzneczova-1999@list.ru

Смирнова Светлана Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронное приборостроение и менеджмент качества» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, e-mail: sv.smirnova@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Секция I. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ	3
Семенюк В.В. Исследование эффективности применения нейронных сетей для распознавания эмоций человека по его речи	4
Сурин Н.В. Бинарная нейросеть как машинное обучение для маломощных ЭВМ	8
Аленников Е.М., Субботская А.Ю., Васин Н.Н. Исследо- вание зависимости скорости передачи данных по VPN-туннелю с разными сочетаниями алгоритмов шифрования и хеширова- ния при различной загрузке канала	15
Файзрахманов Р.А., Мищенко С.С. Упаковка двумерных нестандартных контейнеров с однородными контейнерами ...	19
Казанцев З.В., Тарутин А.В. Разработка автоматизирован- ного рабочего места для сборщика малогабаритного ДНГ в ПАО «ПНППК»	23
Бобков С.А., Файзрахманов Р.А. Аудиовизуальное распознавание речи двух и более одновременно говорящих спикеров	29
Застава Ю.А., Бердимуратов А.М. Разработка программно- аппаратной модели дорожного движения в городской среде ...	36
Куций Д.Н., Марченко Л.А. Разработка информационной модели данных сайта салона красоты	44
Лысов С.С. Применение быстрого преобразования Фурье для построения обнаружителя действительных и квадратур- ных радиосигналов	49
Поносова В.О., Тарутин А.В., Щапов В.А. Исследо- вание процесса планирования трудовых ресурсов на платформе SAP	55
Чернышев А.С., Щапов В.А., Тарутин А.В. Разработка системы внутреннего документооборота предприятия	61
Попов Н.И., Тарутин А.В., Щапов В.А. Исследование про- цессов организации и поиска мероприятий	65
Мустафазаде Н.Х. Программный комплекс для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосфер- ного загрязнения города Баку	71

Рыболовлев И.Н., Трусов В.А. Обзор инструментов, применяемых для определения уровня критичности	76
Усенко В.С. Анализ методов написания тестов при тестировании программного обеспечения	82
Марахтанов А.Г., Смирнов Н.В., Паренченков Е.О. Применение методов машинного обучения для идентификации пользователей веб-системы по курсорному почерку	86
Осипенко И.А., Гончаровский О.В. Способ передачи данных по линии электропередач и его применение в «умном доме»	93
Савенков И.Н. Распознавание эмоций человека на основе визуальной информации с использованием свёрточной нейронной сети	100
Нагаев А.А., Тютюных А.А. Разработка алгоритма оптимизации графического наполнения сцены компьютерного тренажера	106
Прозорова Л.Ю., Лобачев С.А., Топоренко В.В. Автоматизированное рабочее место менеджера по сдаче офисных помещений в аренду	113
Сухих И.И. Построение модели компетенций выпускника вуза с помощью автоматизированной системы обработки рабочих программ университета	118
Спиридонова И.А., Шабанов Н.Л. Разработка моделей данных для информационной системы веб-сайта «Праздник в каждый дом»	124
Кривошеев С.В., Лукин К.О. Моделирование работы гиросtabilизатора и оценка точности работы с помощью MatLab	130
Клепцин А.В., Баталов М.К., Никулин В.С. Разработка алгоритма управления вторичным источником питания с использованием сплайн-функций	136
Рубцов Ю.Ф., Сергеев А.В., Поляков А.В. Автоматизированное рабочее место инженера службы релейной защиты, автоматики и испытаний	143
Манилкин А.А., Рагозин А.Н. Построение однокомпонентного прогноза и доверительного интервала сигнала с использованием цифрового фильтра линейного предсказания	148

Трусов А.В., Минтагиров Д.И. Процедурная модель информационно-аналитической обработки базы данных по импортозамещающей продукции для ТЭК России	155
Белозерова Е.С., Данилова Е.Ю. Усовершенствованная модель шаблонов для автоматической проверки программных решений	159
Хозяшев Д.Е., Файзрахманов Р.А. Разработка автоматизированной системы для исследования методов решения задачи календарного планирования единичного и мелкосерийного производства	167
Кукушкин И.Д., Жарков Г.Н., Федоров А.Б. Разработка системы диспетчерского управления и сбора данных для лабораторного стенда «Умное здание» под операционные системы Android и Windows	174
Козин А.В., Гончаровский О.В. Исследование и разработка макета идеоцентрической навигационной системы на базе сервисного робота «Промобот»	181
Иванова К.М., Тюрин С.Ф., Чикаренко С.К. Логический элемент fpga, конфигурируемый на самосинхронный или синхронный режим	185
Бородина Н.В., Федоров А.Б. Информационно-измерительная система диагностики состояния организма на основе анализа параметров пульсовой волны	192
Долгова Е.В., Барсуков А.С. Разработка внутриигрового редактора персонажа с поддержкой трехмерной реконструкции игрока	197
Трусов А.В., Елисеев Д.В. Разработка модели взаимосвязи классификационных уровней классификаторов	204
Долгих М.С., Середкина Е.В. Уменьшение степени антропоморфности внешнего вида роботизированной системы Promobot V.4 для повышения эффективности взаимодействия между человеком и роботом	208
Тарутин А.В., Богданов П.В. Сравнение подходов к реализации веб-приложения на платформе SAP ERP	216
Погудин А.Л., Ачинцев А.Н., Некрасов К.Л., Иванова А.С. Разработка имитационной модели автоматизированной системы по сбору и обработке технологической информации	221

Трусов А.В., Ветрова В.Д. Разработка структурных схем критериев ранжирования объектов техники и технологий, возможных к применению в отраслях ТЭК	231
Лясин В.Н., Трефилова Л.Н., Ситникова В.Б. Разработка задачи «Расчет начислений за услуги ТСЖ»	240
Царьков В.С., Курушин Д.С. Применение нечеткой логики и визуального мешка слов для определения объектов и дефектов труб для внутритрубной диагностики	246
Цибулис Д.Э., Рагозин А.Н., Даровских С.Н. Анализ информационных сигналов с использованием генеративно-состязательных нейронных сетей	257
Диязитдинова А.А. Уменьшение погрешности оценки параметров совмещения телевизионных сигналов для многокамерной системы технического зрения	262
Погудин А.Л., Пугачев Е.А. Автоматизированный контроль мониторинга станков с числовым программным управлением	268
Аникин С.А., Прошечкина Н.В., Караулова О.А. Задача Maze и способы ее решения	274
Лукоянов Р.Д., Смирнова С.В., Мушарапов Р.Н. Информационно-измерительная система для снятия биопотенциалов мышц	280
Федосеева К.А. Чувствительность распознавания паттернов бликов пены флотационной машины к порогу бинаризации	284
Язев П.А. Оснащение модели деятельности горно-выемочного комплекса по данным об энергопотреблении	287
Митюков Е.А. Алгоритм валидации SSL/TLS сертификата для обеспечения информационной безопасности промышленной автоматизированной системы	291
Сиротина Н.А. Конечно-разностное моделирование в управлении природно-ресурсным потенциалом Пермского края	295
Кроха Е.Б., Прозорова Л.Ю. Построение математической модели планирования среднего балла по результатам ЕГЭ абитуриентов, поступающих на электротехнический факультет ПНИПУ	300

Аббасзаде Ф.Г. Вопросы учета эффектов рассеяния при солнечно-фотометрических измерениях оптической плотности атмосферного аэрозоля	307
Асатов Х.Г., Махмудова В.Х. Исследование эффекта уменьшения питательных веществ на полях из-за стока поверхности вод	316
Джавадов Н.Г., Казимова Ф.Т. Изучение специфики индексов сухости и засухи применительно к задачам дистанционного зондирования почвы	324
Седых И.А., Казаков Е.Е. Применение методов кластеризации для классификации фильмов	332
Кулагина М.М., Маматова А.Р. Исследование генетического алгоритма для решения статической задачи аппроксимации	340
Маммадли Р.Ш. Построение оптимальной кинетической модели фотокаталитической деградации загрязнителей в гетерогенной водной среде	346
Маммадли Р.Ш. Построение модели фотокаталитического метода очищения водоемов от органических загрязнителей	353
Секция II. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ	359
Крылова И.А., Кавалеров Б.В. Модификация подсистемы управления частотой вращения газотурбинного двигателя внешнего сгорания с целью улучшения показателей качества регулирования	360
Джафарова Б.Л. Разработка метода мультиреакторной очистки воды от органических загрязняющих веществ с использованием фотокаталитического процесса	368
Асатов Х.Г., Алиева А.Дж., Джафарова Б.Л. Новый метод измерения мутности питьевой воды	375
Асатов Х.Г., Абдуллаева С.Н., Асланова А.Б. Оптимизация функционирования беспилотных летательных аппаратов, снабженных солнечными панелями в режимах подъема и спуска	383
Корнилицин Д.К., Дадиомов Р.Ю., Шумихин А.Г. Разработка моделей виртуального анализатора остаточной влажности KCl после стадии сушки в кипящем слое на калийном предприятии	394

Самойлова Е.М., Хамитов Р.Т. Автоматизация системы управления вентиляцией на контроллере Siemens LOGO	401
Зеров В.Н., Носов И.Н. Сравнение программных алгоритмов фильтрации на примере считываемых значений с датчиков тока в автоматизированном зарядном устройстве для свинцово-кислотных аккумуляторов	406
Косачёв А.Д., Широков А.А. Разработка системы вентиляции химической лаборатории	413
Кондратьев Е.А., Трошин С.В., Сторожев С.А. Нечеткое управление подачей топлива в камеру сгорания газотурбинного двигателя	419
Полыгалова Д.К. Адаптивное управление нестационарных систем	426
Марьин М.А., Широков А.А. Автоматизированная система помола длинного волокна	432
Даденков Д.А., Свитек А.С. Синтез и экспериментальная апробация системы управления поддержанием заданной температуры	439
Пасынкова А.А., Елтышев Д.К. Разработка алгоритма для автоматизации обновления адресной базы данных	447
Даденков Д.А., Артемов Е.В. Разработка стенда для настройки систем управления технологическим процессом с частотно-регулируемым электроприводом	454
Билоус О.А., Пропп А.А. Автоматизированная система управления водоснабжением на основе оборудования Wiren Board	460
Федоров А.Б., Чазов И.А., Полуйко И.В. Автоматизация пресс-вакуумной сушильной камеры	465
Поздеева А.М., Петроченков А.Б. Модернизация алгоритмов управления режимами работы ГПА-16	471
Дроздова А.Д., Смирнова С.В. Разработка алгоритма обработки информации и структуры информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установкой	477

Научное издание

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции
(г. Пермь, 9–11 июня 2021 г.)

В двух томах
Том 1

Корректор *М.А. Шемякина*

Подписано в печать 21.12.2021.
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 30,63
Тираж 100 экз. Заказ 273/2021

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.