

ISSN 2663-4228 (Print)
ISSN 2663-4236 (Online)

Вестник Донецкого национального университета



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

*Основан
в 1997 году*

**Серия Г
Технические
науки**

2/2021

Редакционная коллегия журнала

«Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки»

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.В. Данилов.**

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, ст. науч. сотр. **А.П. Симоненко.**

Ответственный секретарь – канд. техн. наук **И.А. Третьяков.**

Члены редколлегии: канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. **П.В. Асланов;** д-р техн. наук, доц. **Н.И. Болонов;** д-р техн. наук, проф. **С.А. Горожанкин;** канд. техн. наук, доц. **В.Д. Коренев;** канд. техн. наук, ст. науч. сотр. **А.А. Курушин** (Национальный исследовательский университет «МЭИ», Российская Федерация); канд. техн. наук, доц. **И.А. Молоковский;** канд. техн. наук, доц. **В.В. Паслэн;** канд. физ.-мат. наук, доц. **В.И. Тимченко;** канд. техн. наук, доц. **Т.В. Ермоленко;** канд. техн. наук, доц. **Т.В. Завадская;** д-р техн. наук, доц. **С.А. Зори;** д-р техн. наук, проф. **М.Н. Чепцов;** канд. техн. наук **Т.В. Шарий;** д-р техн. наук, проф. **А.Б. Бирюков;** канд. техн. наук, доц. **С.В. Гридин;** д-р техн. наук, проф. **С.М. Сафьянц;** д-р физ.-мат. наук, д-р техн. наук, проф. **В.К. Толстых;** д-р техн. наук, проф. **Г.В. Аверин;** канд. техн. наук, доц. **Т.С. Башевая;** д-р техн. наук, проф. **С.В. Борщевский;** д-р техн. наук, проф. **Е.В. Горохов;** председатель Госкомэкополитики при Главе ДНР **Р.В. Кишкань;** д-р техн. наук, проф. **Н.Г. Насонкина;** д-р хим. наук, проф. **А.И. Сердюк;** д-р архитектуры, доц. **Н.В. Шолух.**

The Editorial Board of the journal

«Bulletin of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences»

The Editor-in-Chief – Dr. of tech., prof. **V.V. Danilov.**

The Deputy of the Editor-in-Chief – Dr. of tech., senior researcher **A.P. Simonenko.**

Assistant Editor – Cand. of tech. **I.A. Tretiakov.**

The Members of the Editorial Board: Cand. of phys. and math., senior researcher **P.V. Aslanov;** Dr. of tech., docent **N.I. Bolonov;** Dr. of tech., prof. **S.A. Gorozhankin;** Cand. of tech., docent **V.D. Korenev;** Cand. of tech., senior researcher **A.A. Kurushin** (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Russian Federation); Cand. of tech., docent **I.A. Molokovskii;** Cand. of tech., docent **V.V. Paslen;** Cand. of phys. and math., docent **V.I. Timchenko;** Cand. of tech., docent **T.V. Ermolenko;** Cand. of tech., docent **T.V. Zavadskaja;** Dr. of tech., docent **S.A. Zori;** Dr. of tech., prof. **M.N. Sheptsov;** Cand. of tech. **T.V. SHarii;** Dr. of tech., prof. **A.B. Biriukov;** Cand. of tech., docent **S.V. Gridin;** Dr. of tech., prof. **S.M. Safiants;** Dr. of phys. and math., Dr. of tech., prof. **V.K. Tolstykh;** Dr. of tech., prof. **G.V. Averin;** Cand. of tech., docent **T.S. Bashevaia;** Dr. of tech., prof. **S.V. Borshchevskii;** Dr. of tech., prof. **E.V. Gorokhov;** Chairman of the State Committee on Ecological Policy at the Head of the DPR **R.V. Kishkan;** Dr. of tech., prof. **N.G. Nasonkina;** Dr. of chem., prof. **A.I. Serdiuk;** Dr. of arch., docent **N.V. SHolukh.**

Адрес редакции: ГОУ ВПО «ДОННУ», 283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

URL: <http://donnu.ru/vestnikG>

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (**Перечень ВАК**) (Приказы МОН ДНР №440 от 06.03.2020 г., №42 от 26.01.2021 г.) по следующим группам научных специальностей (специальностям): **05.11.00** – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы; **05.12.00** – Радиотехника и связь; **05.13.00** – Информатика, вычислительная техника и управление; **05.14.04** – Промышленная теплоэнергетика; **05.23.19** – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства.

Журнал включен в национальную информационно-аналитическую систему **РИНЦ** (Лицензионный договор № 378-06/2016 от 24.06.2016 г. в ред. от 27.03.2019 г.): <http://elibrary.ru/titles.asp?sortorder=0&titlename=2663-4228>

*Печатается по решению Ученого совета ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»:
Протокол №4 от 28.05.2021 г.*

**Вестник
Донецкого
национального
университета**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1997 ГОДУ

Номер посвящён 60-летию первого
полёта человека в космос

Серия Г: Технические науки

№ 2

Донецк, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово 5

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Бабичева М.В., Колтунов К.В. Оценка криптостойкости алгоритма шифрования KeeLog в системах автосигнализации 6

Давыдов А.Г., Курушин А.А. Моделирование антенны в крыле самолета 11

Рушечников Я.И., Яновский А.В., Подлесный В.Ю., Худяков И.И. Автоматизированный комплекс получения вольт-амперной характеристики полупроводниковых диодов 22

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Костенков В.С., Данилов В.В., Тимошенко Н.А. Особенности управления доступом в информационных системах в контексте проверки подлинности документов 28

Винник А.О., Мартыненко А-А.М., Бондаренко В.И. Программный комплекс мониторинга энергопотребления на предприятиях угольной промышленности 33

Третьяков И.А., Кожекина Е.Н., Журавлёв И.В. Оптимизация SQL-запросов 39

Пометун Е.Д., Третьяков И.А. Обработка выходного сигнала термоанемометра постоянной температуры в динамическом режиме работы 50

Чепцов М.Н., Климов В.В. Классический подход к прогнозированию оценок магистрального канала сети оператора мобильной связи 56

Клюшниченко А.Д., Лобко А.Я., Кожекина Е.Н., Тимченко В.И. Нейросетевые алгоритмы распознавания лиц в системах биометрической аутентификации и видеонаблюдения 62

Негода А.Г., Шарий Т.В. Автоматическое распознавание эмоций в видеопотоках на основе капсульных сетей и лог-полярного преобразования 72

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Володин Н.А. Идентификация параметра процесса взрывной кристаллизации из переохлажденного расплава 79

Карнаух В.В., Бирюков А.Б. Анализ возможности прямого использования теплоты оборотной воды для решения задач теплоснабжения 84

Захаров Н.И., Тупилко И.В. Энергоресурсосбережение при интенсификации процессов теплопереноса в условиях дегазации жидкого металла от растворенного в нем азота 94

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

<i>Симоненко А.П., Собко А.Ю.</i> Повышение экологической безопасности крупных свиноводческих комплексов за счет применения полимерных композиций	100
<i>Иванченко В.А., Степаненко Т.И.</i> Анализ возможностей использования шахтных вод для технических нужд промышленных предприятий с целью снижения техногенной нагрузки на водные объекты	116

ИНФОРМАЦИОННАЯ РУБРИКА

60-летию первого полёта человека в космос	124
Правила для авторов	128

Bulletin of Donetsk National University

SCIENTIFIC JOURNAL

FOUNDED IN 1997

Number dedicated to the 60th
anniversary of the first human
spaceflight

Series G: Technical sciences

№ 2

Donetsk, 2021

CONTENTS

Opening remark 5

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Babicheva M.V., Koltunov K.V. Evaluation of the cryptographic strength of the KeeLog encryption algorithm in car alarm systems 6

Davydov A.G., Kurushin A.A. Design antenna in airplane wing 11

Rushechnikov IA.I., IAnovskii A.V., Podlesnyi V.IU., KHudiakov I.I. Automated complex for obtaining volt-ampere characteristics of semiconductor diodes 22

COMPUTER SCIENCE AND COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT

Kostenkov V.S., Danilov V.V., Timoshenko N.A. Features of access control in information systems in the context of document authenticity check 28

Vinnik A.O., Martynenko A-A.M., Bondarenko V.I. Software complex for monitoring energy consumption at the enterprises of the coal industry 33

Tretiakov IA.A., Kozhekina E.N., ZHuravlev I.V. Optimizing SQL-queries 39

Pometun E.D., Tretiakov IA.A. Algorithm for processing the signal of the constant temperature anemometer in the dynamic operation mode 50

CHeptsov M.N., Klimov V.V. Classic approach to predicting estimates of the backbone channel of mobile operator's network 56

Kliushnichenko A.D., Lobko A.IA., Kozhekina E.N., Timchenko V.I. Neural network algorithms for face recognition in biometric authentication and video surveillance systems 62

Negoda A.G., SHarii T.V. Automatic emotion recognition in video streams based on capsule networks and log-polar transform 72

INDUSTRIAL HEAT AND POWER ENGINEERING

Volodin N.A. Identification of the parameter of the explosive crystallization process from a supercooled melt 79

Karnaukh V.V., Biriukov A.B. Analysis of the possibility of direct using of return water heat to solve heat supply problems 84

Zakharov N.I., Tupilko I.V. Energy saving during intensification of heat and mass transfer processes under conditions of liquid metal degassing from nitrogen dissolved therein 94

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN SERVICES

<i>Simonenko A.P., Sobko A.IU.</i> Improving the environmental safety of large pig-breeding complexes through the use of polymer compositions	100
<i>Ivanchenko V.A., Stepanenko T.I.</i> Analysis of the possibilities of the use of mining water for technical needs of industrial enterprises in order to reduce the technogenic load on water bodies	116

INFORMATION SECTION

60th anniversary of the first human spaceflight	124
Instructions for authors	128

Уважаемые коллеги!

Ежегодно в апреле Физико-технический факультет Донецкого национального университета празднует День Факультета. Празднование приурочено знаменательной дате 12 апреля - к первому полёту человека в космос 12 апреля 1961 года, который совершил гражданин Советского Союза Юрий Алексеевич Гагарин на космическом корабле «Восток-1».

Это особенный день - день триумфа науки и человеческого гения, а в этом году исполнилось 60 лет с того самого дня. Этот день особенно важен как для Физико-технического факультета, так и для Донбасса - региона, который является родиной немало количества легендарных космонавтов. Учитывая это, редакционная коллегия приняла решение посвятить настоящий номер журнала данному юбилею, чему приурочена статья в информационной рубрике.

Поздравляем сотрудников, аспирантов, студентов и выпускников с Днём Факультета, а авторов и читателей со Всемирным Днём авиации и космонавтики!

Главный редактор



В.В. Данилов

Ответственный секретарь



И.А. Третьяков

УДК 004.056.55

ОЦЕНКА КРИПТОСТОЙКОСТИ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ KEELOG В СИСТЕМАХ АВТОСИГНАЛИЗАЦИИ

© 2021 *Бабичева М.В., Колтунов К.В.*

Определен лавинный критерий алгоритма шифрования KeeLog, широко применяющегося в системах автосигнализации, проведен сравнительный анализ с другими популярными шифрами, сделаны выводы о криптостойкости алгоритма.

Ключевые слова: автосигнализация, KeeLog, криптоанализ, лавинный критерий.

Введение. В связи с применением злоумышленниками все более технически и программно совершенных методов для атак на системы защиты автомобилей, исследование протоколов аутентификации, используемых в современных автосигнализациях и разработка более криптостойких протоколов, становится важной задачей. Подавляющее большинство систем автосигнализации работают на микросхемах Microchip Technology, и реализовывают алгоритм KeeLog, который стал фактически стандартом индустрии. KeeLog является блочным алгоритмом шифрования, использует 32-битный блок и 64-битный ключ. Целью данной работы является исследование лавинного критерия для алгоритма KeeLog, широко используемого в реализациях автомобильных сигнализаций такими компаниями, как Chrysler, Daewoo, Fiat, General Motors, Honda, Toyota, Volvo, Volkswagen Group, Clifford, Shurlok, Jaguar.

Постановка задачи. Необходимо написать программу, реализующую алгоритм шифра KeeLog, позволяющую задавать входные данные, ключ шифрования и другие параметры алгоритма. Исследовать поведение алгоритма при изменении параметров. Оценить криптостойкость алгоритма KeeLog и сделать выводы о возможности его применения.

Алгоритм KeeLog. KeeLog – запатентованный легко реализуемый на практике симметричный алгоритм шифрования, основанный на NLFSR (Non-Linear Feedback Shift Register, нелинейным сдвиговым регистром с обратной связью). Код был разработан профессором Гидеоном (Gideon Kuhn) в середине 80х и продан за 10 млн долларов компании Microchip Technology в 1995м. Схема шифрования напоминает генератор псевдослучайной последовательности, построенный на сдвиговом регистре. Алгоритм представлен на рисунке 1. Шифрование происходит блоками по 32 бита с помощью 64 битного ключа, один блок текста шифруется за 528 циклов. Функция NLF является нелинейным сдвиговым регистром с обратной связью, который принимает значение $0x3A5C742E$ или $F, A, B, C, D, E = d \oplus e \oplus ac \oplus ae \oplus bc \oplus be \oplus cd \oplus de \oplus ade \oplus ace \oplus abd \oplus abc$. Алгоритм использует 1, 9, 20, 26 и 31 биты из NLFSR для вывода во время шифрования и 0, 8, 19, 25 и 30 биты во время дешифрования. На выходе выполняется операция XOR с двумя из битов состояния NLFSR (биты 0 и 16 на шифровании и 31 и 15 биты на расшифровке) и с ключевым битом (бит 0 из ключевого состояния на шифровании и бит 15 из ключевого состояния на расшифровке) и данная операция подается обратно в состояние NLFSR на каждом раунде [1, 2].

Программная реализация данного алгоритма проста. Еще одним преимуществом является скорость работы. Расшифровывание посылки происходит аналогичным образом. Циклы шифрования-расшифровывания являются симметричными по времени. Алгоритм расшифровки представлен на рисунке 2.

Шифрование

NLF 0x3A5C742E - feedback function, F

$F(a,b,c,d,e) = d \oplus e \oplus ac \oplus ae \oplus bc \oplus be \oplus cd \oplus de \oplus ade \oplus ace \oplus abd \oplus abc$

Feedback:

$\varphi = F(y^{i31}, y^{i26}, y^{i20}, y^{i16}, y^{i9}, y^{i1}) \oplus y^{i16} \oplus y^{i0} \oplus k^{i0}$

Text: $R^{i+1} = (\varphi, y^{i31}, \dots, y^{i1})$

Key: $K^{i+1} = (k^{i0}, k^{i63}, \dots, k^{i1})$

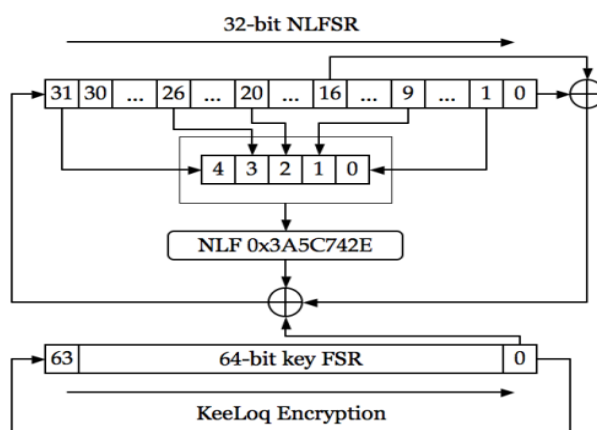


Рис. 1. Шифрование блоками по 32 бита с использованием 64 битного ключа (один блок текста шифруется за 528 циклов)

Расшифровывание

Feedback: $\varphi = F(y^{i30}, y^{i25}, y^{i19}, y^{i8}, y^{i0}) \oplus y^{i15} \oplus y^{i31} \oplus k^{i15}$

Text: $R^{i+1} = (y^{i30}, \dots, y^{i0}, \varphi)$

Key: $K^{i+1} = (k^{i62}, \dots, k^{i0}, k^{i63})$

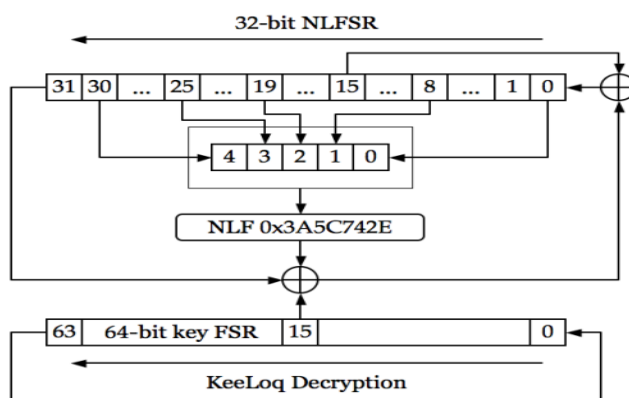


Рис. 2. Расшифровывание KeeLog

Программная реализация. Для прошивки микроконтроллеров PIC используется язык C или ассемблера, но осуществлять изучение параметров шифра в традиционной для контроллеров PIC среде программирования MPLAB довольно сложно. Поэтому для исследования лавинного эффекта шифра KeeLog была написана программа на языке Python, которая осуществляла шифрование по вышеописанному алгоритму. Шифровалась 32-битная посылка, которая заносилась в переменную PLAINTEXT. Использовался 64-битный ключ. Шифрование осуществлялось за 528 раундов. Нелинейная функция шифрования (NLF) принимает значения из 31, 26, 20, 9 и 1 битов массива p – исходного текста. В реальных системах для увеличения скорости она задается таблицей, здесь она вычисляется на каждом раунде шифрования. На рисунке 3 представлен соответствующий фрагмент кода.

```
# нелинейная функция шифрования
def core(a,b,c,d,e):
    return (d+e+a*c+a*e+b*c+b*e+c*d+d*e+a*d*e+a*c*e+a*b*d+a*b*c) % 2;

# это раундовая функция шифрования, где newb это новый бит, который мы добавляем в зашифрованный текст.
def encroundfunction(p,k,r):
    for i in range(0,r):
        newb = (int(k[0]) + int(p[0]) + int(p[16]) + core(int(p[31]),int(p[26]),int(p[20]),int(p[9]),int(p[1]))) % 2;
        shiftp(p,newb);
        shiftk(k);
```

Рис. 3. Нелинейная и раундовая функции шифрования

В переменную newb записывается новый байт, вычисленный с помощью функции core, сложенной с нулевым битом ключа и нулевым и 16- м битами открытого текста. Затем вызываются функции сдвига ключа и открытого текста, которые просто удаляют 0 бит и добавляют следующий из ключа и открытого текста, которые представляют из себя массивы из нулей и единиц. На шифрование подаются открытый текст, ключ и количество раундов шифрования: encroundfunction(ptextl,keyl,ROUNDS). Для расшифровки используется функция decroundfunction(ptextl,keyl,ROUNDS), на которую подается массив зашифрованного текста, ключ и количество раундов. Поскольку длина ключа 64 бит, и используется 528 раундов шифрования., то $528=64*8+16$, поэтому ключ возвращается к первоначальному состоянию 8 раз, но в конце он сдвигается на 16. При расшифровке необходимо реинициализировать ключ, то есть очистить массив и занести туда оригинальный ключ. Это осуществляется при помощи функции del keyl[:]. Результат выполнения программы можно увидеть на рисунке 4.

```
Открытый текст: 0101010101010101010101010101010101010101010101010101010101010101
Ключ: 0000010000100010100011100000000010000110000011001001111000010001
Зашифрованный текст: 01000111010011001100101111001110
Расшифрованный текст: 0101010101010101010101010101010101010101010101010101010101010101
>>>
```

Рис. 4. Результат работы программы для реализации шифра KeeLog

Исследование лавинного эффекта. Блочный шифр удовлетворяет лавинному критерию (AE), если при изменении одного информационного бита, в среднем изменяется не менее половины выходных бит [3]. Для алгоритма KeeLog это означает, что изменение одного бита в ключе и/или записанной в память информации заставит измениться в среднем 16 из 32 битов в переданной посылке.

Для проведения эксперимента программа была дополнена модулем, сравнивающим биты исходного и зашифрованного сообщений. Для наглядности вместо измененных бит ставятся звездочки. Затем выводится количество и процент измененных битов. Результат работы программы представлен на рисунке 5.

```
Открытый текст: 0101010101010101010101010101010101
Зашифрованный текст: 01000111010011001100101111001110
Разница *0*1*01*0*10*1*0*1*010*1*010*1*01010*10*1*010*101
Количество измененных бит 17
Процент измененных бит 53.125
```

Рис. 5. Исследование процента измененных бит при шифровании

Поскольку вариантов 32- битной посылки может быть 2^{32} , то есть 4294967296 комбинаций, что для компьютера не так уж и много, были проверены все возможные комбинации и полученные проценты усреднены. В среднем процент измененных бит шифротекста при изменении случайного количества бит посылки 51,14. Он достигает максимума 57 и минимума 43 процента измененных бит при различных значениях исходного текста. При изменении только одного 1 бита входного текста на выходе изменялось не менее половины бит (рис. 6).

```
Открытый текст 1: 0101010101010101010101010101010101
Открытый текст 2: 010101010101010101010101010001010101
Зашифрованный текст 1: 01000111010011001100101111001110
Зашифрованный текст 2: 000100110011001001010000111110110
Разница *1*0*1***100110*1**01*1***001***
Количество измененных бит 16
Процент измененных бит 50.0
```

Рис. 6. Исследование процента измененных бит при шифровании
(при изменении 1 бита входной информации на одном ключе изменяется половина выходных бит)

Изменялись также и биты ключа. На вход алгоритма подавалось значение 64 битного ключа с одним измененным битом. На рисунке 7 представлен результат работы программы.

```
Ключ1: 0000010000100010100011100000000010000110000011001001111000010001
Ключ2: 0000010000100010100011100000000010000110000010001001111000010001
Зашифрованный на ключе 1: 01000111010011001100101111001110
Зашифрованный на ключе 2: 11111101011001011010000111111101
Измененные биты заменены * *1***1*101*0*10*1**0*0*111**11**
Количество измененных бит 16
Процент измененных бит 50.0
```

Рис. 7. Исследование процента измененных бит при шифровании
(при изменении 1 бита ключа изменяется половина бит зашифрованного текста)

В данном случае на выходе изменялось также не менее половины бит. После усреднения результатов всех экспериментов, и с изменением битов входной посылки, и ключа шифрования лавинный критерий получился 16,0 (50 %) с разбросом значений 2.82 (8,8 %). Для сравнения, лавинный критерий для шифра ГОСТ 28147-89 в режиме распространяющегося сцепления блоков составляет 51,22%, а для шифра DES режим Дэвиса-Прайса всего 23,86% [4].

Выводы. Из проведенных исследований можно сделать вывод, что шифр KeeLog удовлетворяет лавинному критерию. Если возможность угадать какой-нибудь бит равна 0.5, то вероятность правильного угадывания всей 32-разрядной посылки равна $1/4300000000$ и очень мала, при этом даже восстановив исходную посылку брутфорсом, что займет немало времени, придется еще подобрать 64 битный ключ, для расшифровки последующих посылок. Ведь данный шифр используется не для закрытия данных, а для управления системами сигнализации и злоумышленнику перехватив сигнал-посылку закрытия двери необходимо восстановить значение 64 битного ключа шифрования, имея 32 бита закрытого текста, а также для общения приемника-передатчика в режиме hopping-code предсказать значение следующей зашифрованной посылки. Следовательно, алгоритм KeeLog имеет довольно высокий показатель криптостойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marneweck K. An Introduction to KEELOQ® Code Hopping / Kobus Marneweck ; Microchip Technology Inc. – Текст : электронный. – URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/91002a.pdf> (дата обращения: 11.01.2021).
2. Техническая документация компании Microchip Technology Incorporated, USA. – Текст : электронный. – URL: http://www.microchip.ru/files/d-sheets-rus/pic16_1.pdf (дата обращения: 11.01.2021).
3. Мао В. Современная криптография: теория и практика / Венбо Мао ; Компания Hewlett-Packard ; [пер. с англ. и ред. Д. А. Клюшина]. – Москва [и др.] : Вильямс, 2005 (ГПП Печ. Двор). – 763 с.
4. Столлингс В. Криптография и защита сетей : Принципы и практика / Вильям Столлингс ; [пер. с англ. и ред. А. Г. Сивака, А. А. Шпака]. – 2. изд. – Москва [и др.] : Вильямс, 2001. – 669 с.

Поступила в редакцию 25.03.2021 г.

EVALUATION OF THE CRYPTOGRAPHIC STRENGTH OF THE KEEOLOG ENCRYPTION ALGORITHM IN CAR ALARM SYSTEMS

Babicheva M.V., Koltunov K.V.

The avalanche criterion of the KeeLog encryption algorithm, widely used in car alarm systems, is determined, a comparative analysis with other popular ciphers is carried out, and conclusions about the cryptographic strength of the algorithm are drawn.

Keywords: car alarm, KeeLog, cryptanalysis, avalanche criterion.

Бабичева Маргарита Вадимовна

старший преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: m.v.babicheva60@gmail.com

Babicheva Margarita Vadimovna

Senior Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Колтунов Константин Викторович

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: 1997-don00@mail.ru

Koltunov Konstantin Viktorovich

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕННЫ В КРЫЛЕ САМОЛЕТА

© 2021 Давыдов А.Г., Курушин А.А.

В работе выполняется моделирование антенны радиопеленгатора, используя современное программное обеспечение - программы электродинамического моделирования FEKO и CST, что позволяет выполнить оптимизацию конструкции и рассчитать характеристики антенной системы. В качестве примера рассматривается антенная система автоматического радиокompаса АРК-35, утопленная в крыле самолета. Расчеты позволили рассчитать характеристики антенны с учетом глубины ванночки погружения антенной системы.

Ключевые слова: антенна радиопеленгатора, моделирование, программы электродинамического моделирования FEKO и CST, ненаправленная электрическая антенна, рамочная магнитная антенна, элемент Гюйгенса.

Навигационная антенна. Навигационная антенна радиопеленгатора АРК-35 [1] работает на сверхнизких частотах 100 – 300 кГц, что позволяет использовать огибание радиоволн неоднородных объектов, и таким образом увеличить зону приема пеленгации – до 500 км. Необходимым условием работы таких радиопеленгаторов является вертикальная поляризация принимаемых радиоволн, что в используемых диапазонах средних и длинных волн практически всегда выполняется ввиду специфики антенн радиопередатчиков и преобладания поверхностного механизма распространения радиоволн. Навигационная антенна, стоящая на летательном аппарате, должна быть смонтирована так, чтобы её части не выступали над крылом или металлической поверхностью, в которой она смонтирована. Это последнее требование особенно важно для современных летательных аппаратов, обладающих большой скоростью и в которых необходима высокая степень обтекаемости воздушного потока.

Навигационная антенна (рис. 1) состоит из ненаправленной штыревой и рамочной антенны, которые вместе образуют антенную систему, имеющую однонаправленную диаграмму направленности.

Ненаправленная антенна [1, 2] представляет собой вертикальный штырь или провод. Диаграмма направленности такой антенны в горизонтальной плоскости представляет собой окружность, то есть уровень принимаемого штыревой антенной радиосигнала не зависит от направления на источник радиосигнала.

Рамочная антенна [1-3] представляет собой несколько витков провода, причём периметр витка намного меньше рабочей длины волны радиостанции. Как правило, витки располагаются на ферритовом сердечнике (магнитная рамочная антенна). Плоскость витков расположена вертикально. Диаграмма направленности «по полю» такой рамочной антенны в горизонтальной плоскости в соответствии с законом Фарадея описывается функцией $\sin(\varphi)$ (при отсчёте угла φ от нормали к плоскости рамки), и при её изображении в полярной системе координат по форме напоминает цифру 8 («восьмёрка»). То есть диаграмма направленности состоит из двух одинаковых по форме и величине лепестков. В частности, если плоскость рамки параллельна направлению на радиостанцию (рамка «стоит боком»), то уровень (амплитуда) принимаемого рамочной антенной сигнала максимален. Если же плоскость рамки перпендикулярна направлению на радиостанцию, то уровень принимаемого сигнала

минимален. Приём радиоволн одного и того же источника по одному и другому лепесткам диаграммы направленности рамочной антенны отличается только фазой радиосигнала: при повороте рамочной антенны вокруг вертикальной оси на 180° уровень принимаемого радиосигнала не изменится, а фаза изменится на 180° (знак функции $\sin(\varphi)$ меняется на противоположный, сигнал становится противофазным по сравнению с исходной ориентацией рамки).

На входе радиоприёмника радиокompаса [2-4] сигналы ненаправленной и рамочной антенн суммируются с определенными весовыми коэффициентами. Подбором этих коэффициентов формируется результирующая диаграмма направленности в виде кардиоиды, причём максимум её направлен в сторону одного из лепестков диаграммы направленности рамочной антенны, а минимум — в направлении другого (в зависимости от того, в каком из этих направлений приняты антеннами радиосигналы с учётом весовых коэффициентов оказываются синфазными, а в каком — противофазными).

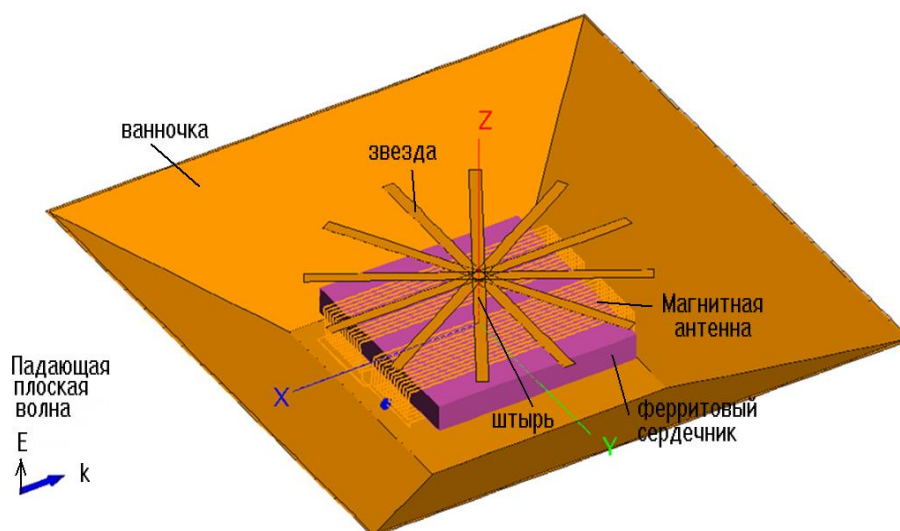


Рис. 1. Навигационная антенна, состоящая из рамочной антенны на ферритовом сердечнике и штыря, пропущенного сквозь ферритовый сердечник и замкнутого на емкостной элемент в виде звездной структуры

На рис. 1. стрелка указывает плоскую падающую волну, которая задается в моделировании, и это направление очень близко к направлению приемного сигнала в практике работы радиокompаса.

Выполним моделирование с помощью программы FEKO [5] автоматического радиокompаса (АРК) — бортового радиопеленгатора, предназначенного для навигации летательных аппаратов по сигналам наземных радиостанций путём непрерывного измерения курсового угла радиостанции (КУР). Курсовой угол радиостанции — угол между продольной осью воздушного судна и направлением на радиостанцию, отсчитываемый по часовой стрелке. Радиокompас называется автоматическим потому, что после настройки на несущую частоту радиостанции он без участия человека (оператора) непрерывно измеряет значение КУР. Курсовой угол отображается на стрелочном или цифровом индикаторе, а также может передаваться в бортовую навигационную систему.

Совместно с курсовыми приборами радиокompас позволяет в любых метеоусловиях, в любое время суток выполнять полёт с заданным курсом с непрерывной визуальной индикацией курсового угла.

Ненаправленная электрическая антенна. Если в качестве модели ненаправленной антенны представить monopольную антенну (штырь) над бесконечной плоскостью, то её характеристикой является действующая высота антенны. Численный расчет действующей высоты антенны выполняется в соответствии с экспериментом, структура которого показана на рис. 2.

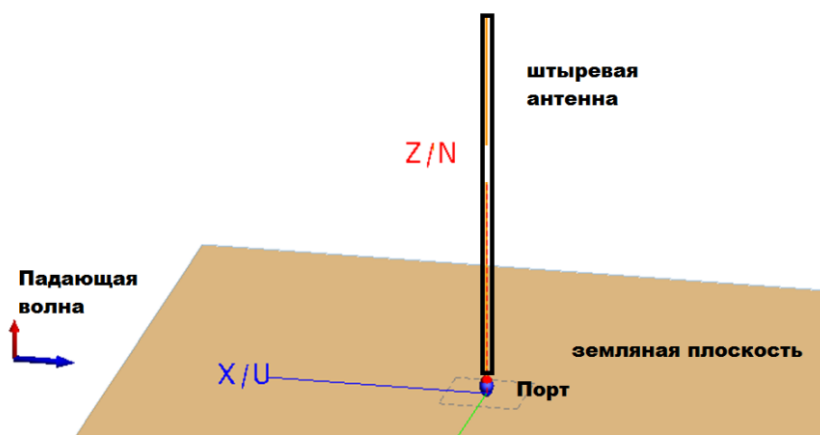


Рис. 2. Штырь над бесконечной проводящей плоскостью и падающая на структуру плоская волна с вертикальной поляризацией

Пусть высота штыря равна $h=40$ мм, радиус $r=0.002$ мм. Тогда, выполнив моделирование этой антенны с помощью программы FEKO получим, что, входной импеданс при расположении порта между штырем и бесконечной проводящей плоскостью равен $Z_{вх}=j*6.5$ МОм (действительная часть - доли Ом).

Если возбудить структуру плоской волной, распространяющейся вдоль оси X (рис. 2), а в порт поставить приемник, измеряющий входное напряжение, то положим входное сопротивление этого приемника намного большим входным сопротивлением антенны. Для расчета э.д.с. источника напряжения, наводимого на антенне, входное сопротивление порта должно существенно превышать это значение. Положим его равным 100 МОм. При падающей волне с напряженности плоского электрического поля $E=1$ В/м расчет дает напряжение на порту $U=39.9$ мВ. Чтобы перейти к действующей высоте, используем соотношение [3]:

$$H_d = U / E / 2. \quad (1)$$

Двойка в формуле (1) появилась потому, что при расчете над бесконечной плоскостью в программе FEKO, напряженность поля удваивается. При полученном напряжении $U=39.9$ мВ из (1) получаем $H_d=19.9$ мм, что хорошо согласуется с приближенной расчетной формулой:

$$H_d = h / 2.$$

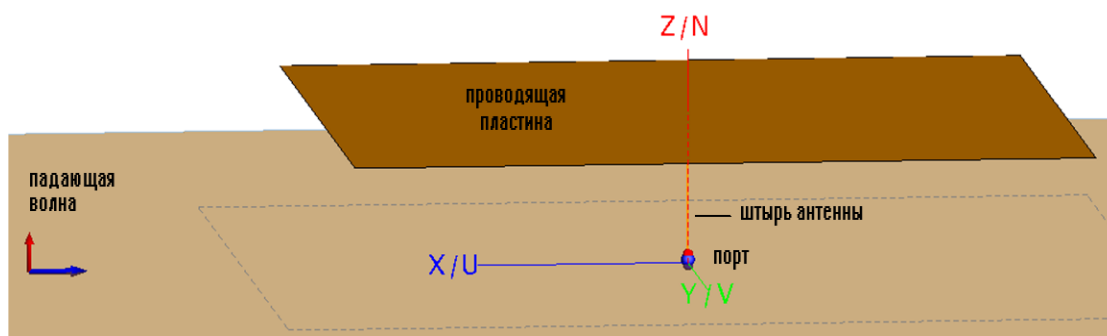
Как показывает расчет входного импеданса, антенна имеет емкостной характер, и величина емкости на частоте 100 кГц равна 0.24 пФ. Выполним расчет этой антенны для нескольких значений радиуса проводника вертикальной антенны. Результаты такого расчета, выполненного с помощью FEKO приведены в табл.1. В ней показаны расчетные значения входного импеданса и действующей высоты антенны для различных радиусов штыря.

Таблица 1. Зависимость характеристик вертикального штыря от его параметров на частоте 100 кГц

Радиус штыря	R=0.002 мм	R=0.2 мм	R=0.3 мм	R=0.5 мм	R=1 мм
Входной импеданс антенны $Z_{вх}$, Ом	-j6500000	-j3200000	-j2880000	-j2500000	-j2000000
Емкость антенны	0.24 пФ	0.5 пФ	0.552 пФ	0.63 пФ	0.79 пФ
Нд	19.9 мм	19.8 мм	19.7 мм	19.6 мм	19.2 мм

Как и следовало ожидать, действующая высота слабо зависит от радиуса штыря. Различие комплектов АРК по блокам АСУ связано с использованием ненаправленных самолетных антенн различной эффективности, определяемой как произведение действующей высоты антенны Нд (м) на величину её собственной емкости Сд (пФ). Из табл. 1 видно, что эффективность антенны находится в пределах от 4 до 17 и увеличивается для толстых проводов. Однако надо учесть, что утолщение проводов уменьшает эффективность работы рамочной антенны.

Штырь с прямоугольной пластиной над бесконечной плоскостью. Подключим сверху штыря прямоугольную металлическую пластину, которая имеет емкостной характер (рис. 3).

Рис. 3. Модель всенаправленной антенны со штырем $h=40$ мм, $r=0.3$ мм и проводящей пластиной 200 мм x 200 мм

Результаты расчета с помощью FEKO, такой антенны, следующие: $U=79.3$ мВ, $X=-j66170$ Ом, $C=24$ пФ. В соответствии с формулой (1), действующая высота составляет 39.6 мм. Таким образом, добавление рассматриваемой пластины увеличивает действующую высоту, которая приближается к физической высоте антенны. Такой же эффект можно достичь, если выполнить пластину в виде проволочной решетки, показанной на рис. 4, как в радиокompасе АРК-35-1-2 [1]. Размер решетки 200x291 мм.

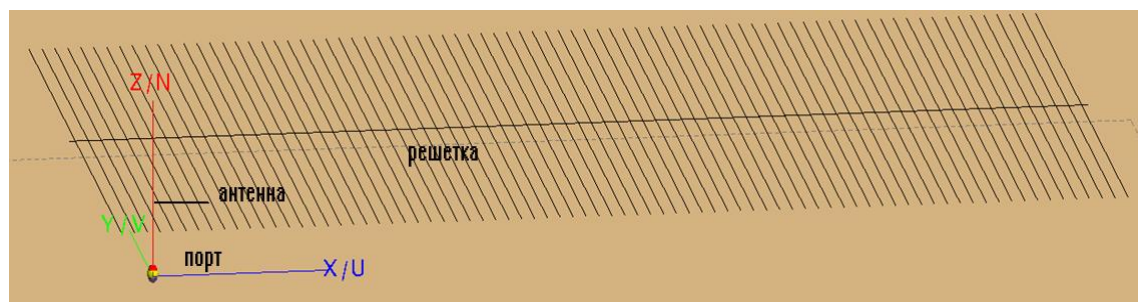


Рис. 4. Модель вертикальной электрической антенны с решеткой

Результаты расчета такой электродинамической структуры с помощью программы FEKO следующие: $U=79.2$ мВ, $X=-j 68 300$, $C=23.3$ пФ.

Тогда согласно (1) действующая высота составляет 39.6 мм. Таким образом, добавление рассматриваемой решетки практически эквивалентно добавлению пластины и полностью «использует» физическую высоту антенны.

Антенна в ванночке. Выполним моделирование электрической антенны в проводящем углублении в виде ванночки. Размеры антенны и решетки соответствуют размерам АРК-35-3-1 (размеры решетки 213x200 мм, глубина ванночки 40 мм, размеры 250x250 по верхнему краю и 120x120 на основании – дне ванночки). Точки крепления штыря также соответствуют конструкции АРК-35-3-1.

В этом расчете плоская падающая волна распространяется вдоль оси X. Результаты расчета с помощью FEKO показывают, что напряжение на порту (рис. 5) равно $U=17.1$ мВ, а входной импеданс $Z=0.0857 - j 66530$ Ом, $C=23.9$ пФ.

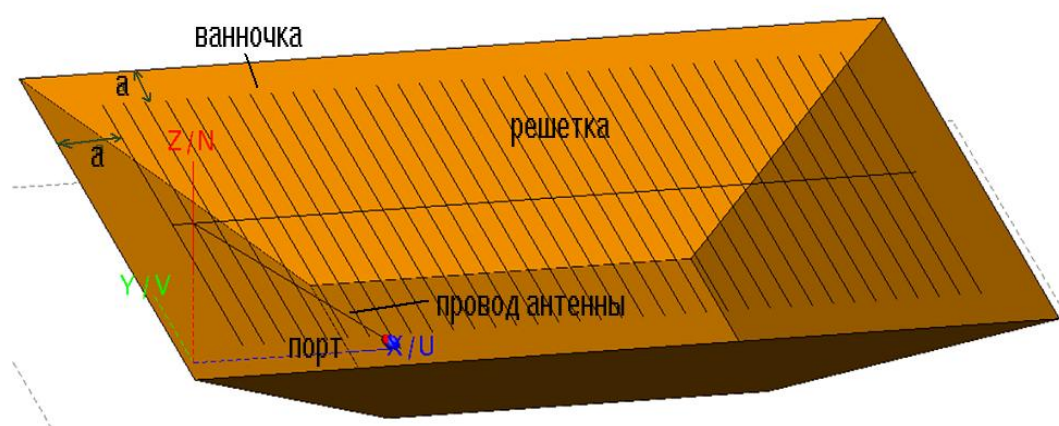


Рис. 5. Модель с решеткой в ванночке

Бесконечная плоскость уже не используется, поэтому при расчете действующей высоты используется формула:

$$H_d = U / E,$$

и при $E=1$ В/м действующая высота антенны H_d [мм] численно равна U в мВ. В таблице 2 приведена зависимость рассчитанного напряжения U для разных размеров решетки квадратного размера (a – расстояние до борта ванночки по периметру). Когда точка подсоединения штыря к решетке оказывалась за пределами решетки, он соединялся с решеткой дополнительным проводником.

Таблица 2. Напряжение на ненаправленной антенне в зависимости от ее геометрии

a, мм	37	61	85	102
U, мВ	19.9	19.92	19.9	21.2

Как видно, в соответствии с этими расчетами оптимальный размер решетки меньше, чем в АРК-35-3-1. Поскольку при уменьшенных размерах решетки способ её подсоединения следует изменить перейдем к модели, где штырь расположен в центре.

Решетка с вертикальным штырем в центре. Результаты расчетов для такой модели при различных размерах решетки приведены на графике (рис. 6). На графике приведена зависимость напряжения U от ширины зазора a . Как видно, существует оптимальная величина зазора (85 мм), при котором напряжение U максимально.

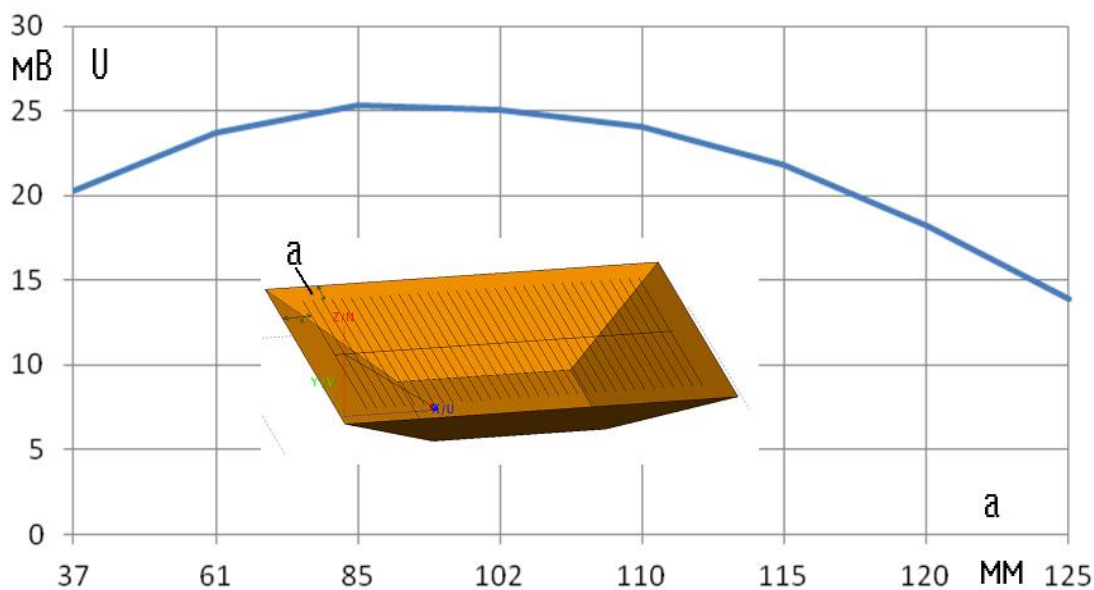


Рис. 6. Зависимость напряжения на выходе решетки от расстояния решетчатой шляпки до борта корыта (размер а показан на рис. 5)

Модель штыревой антенны с решеткой вида «звезда». Штыревая ненаправленная антенна со шляпкой в виде лучевой звезды имеет характеристики, которые зависят от длины лучей звезды.

Диаметр звезды, показанной на рис. 6, $D=50$ мм, толщина штыря 5 мм. В результате моделирования с помощью CST MWS получаем напряжение $U=25,35$ мВ. Зависимость напряжения на порте штыревой антенны со звездным окончанием, показана на рис. 7.

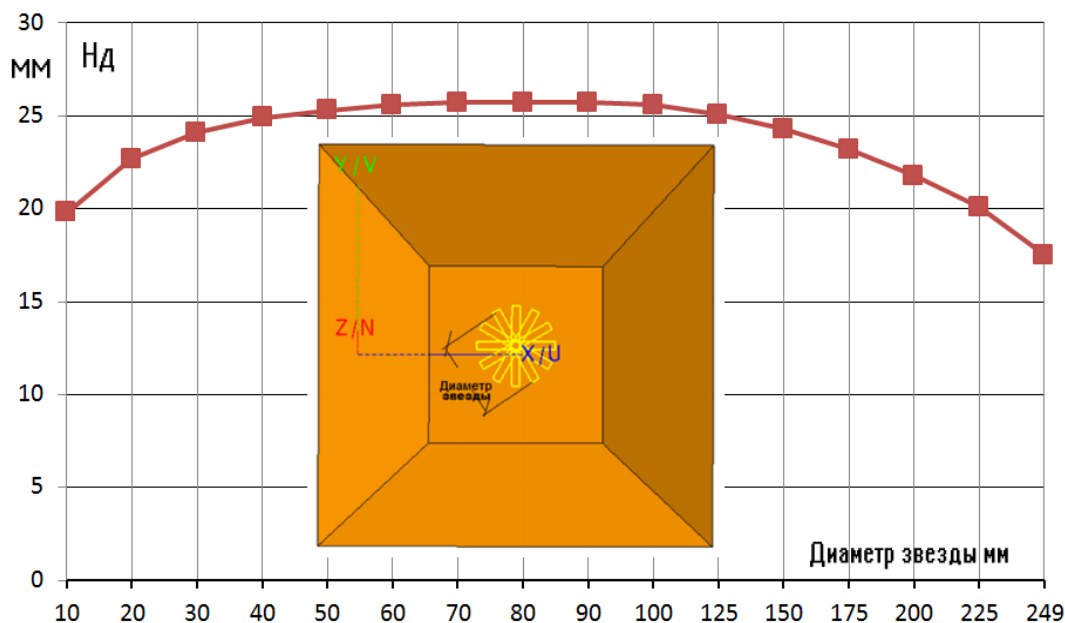


Рис. 7. Зависимость действующей высоты антенны от размеров лучей звезды

Из результатов электродинамического расчета, можно видеть, что действующая высота антенны в ванночке имеет максимум при диаметре звезды 70 мм.

Направленная магнитная антенна на ферритовом сердечнике. Высота ферритового сердечника $h=10$ мм, внешний размер 90 мм x 90 мм, внутренняя выемка 45 мм x 45 мм. Катушка высотой 14 мм имеет 26 витков, из них 13 витков слева от плоскости симметрии (рис. 8) и 13 витков справа.

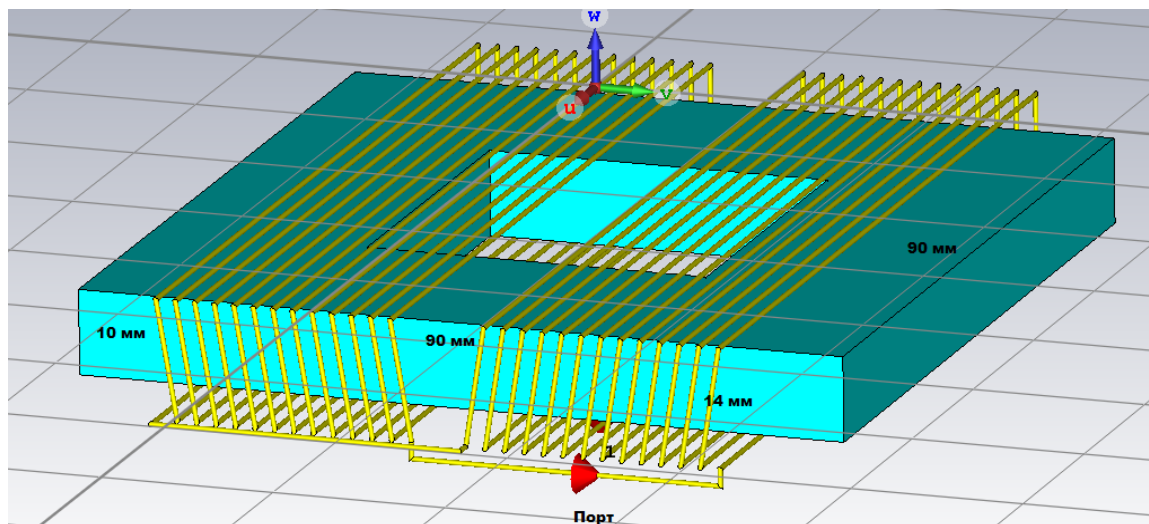


Рис. 8. Общий вид модели магнитной антенны на ферритовом сердечнике

Вдоль оси X на катушку падает плоская волна $E=1$ В/м, $f=100$ кГц и наводит в ней напряжение U , которое можно рассчитать в подсоединенном к ней порту. Внутреннее сопротивление порта положим равным 100 МОм, что значительно превышает импеданс катушки на частоте $f=100$ кГц, поэтому U можно считать значением э.д.с. Радиус проволоки, которой намотана катушка, равен 0.3 мм.

Для моделирования феррита использован метод конечных элементов, катушки – метод моментов, реализованные в программе FEKO. Введена также разбитая на тетраэдры воздушная область, не касающаяся проводников катушки.

Результаты расчета зависимости э.д.с. на выходе ферритовой антенны от магнитной проницаемости феррита приведены в табл. 3. Напряжение рассчитывается в порту 1 (рис. 8). Магнитная проницаемость феррита сердечника меняется от 1 до 800. Для верификации расчетов с помощью программ электродинамического моделирования, расчет был выполнен с помощью программ FEKO и CST.

Таблица 3. Зависимость напряжения U от изменения магнитной проницаемости μ феррита

Магн. пр.	$\mu=1$	$\mu=2$		$\mu=4$	$\mu=5$	$\mu=10$
FEKO	0.083 мВ	0.13		0.162	0.183	0.264
CST	0.08	0.11		0.16	0.18	0.26
Магн. пр.	$\mu=20$	$\mu=40$	$\mu=80$	$\mu=100$	$\mu=150$	$\mu=200$
FEKO	0.366	0.471	0.563	0.585	0.627	0.641
CST	0.36	0.465	0.56	0.58	0.62	0.635
Магн. пр.	$\mu=300$	$\mu=400$	$\mu=500$	$\mu=600$	$\mu=700$	$\mu=800$
FEKO	0.664	0.674	0.68	0.685	0.687 мВ	0.69
CST	0.647	0.665	0.67	0.68	0.68	0.68

Графически зависимости напряжения на порту магнитной антенны от магнитной проницаемости феррита представлены на рис. 9.

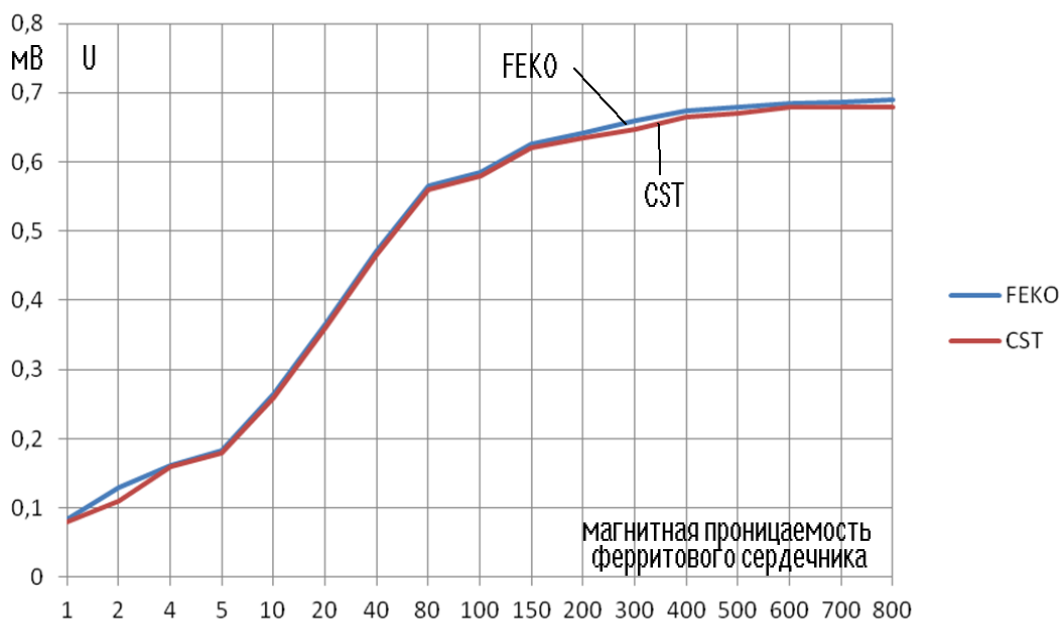


Рис. 9. Зависимость напряжения U в порту магнитной антенны от изменения магнитной проницаемости ферритового сердечника катушки

Как видно из рис. 9, наблюдается хорошее совпадение результатов расчета на электродинамических программа FEKO и CST. Проницаемость феррита, начиная с 100, незначительно увеличивает э.д.с. на выходе рамочной антенны. Совместная работа штыревой и рамочной антенны, создающими элемент Гюйгенса и приоритетное направленное действие системы предполагает выравнивание действующих высот штыревой и рамочной антенн.

Магнитная антенна в «ванночке». При тестировании штыревой и магнитной антенн, они устанавливаются в тестируемый бокс, при этом антенна находится в углублении («ванночке») в виде усеченной пирамиды в плоской квадратной металлической пластине. Эта конструкция моделирует положение антенны радиокompаса в крыле самолета (рис. 10).

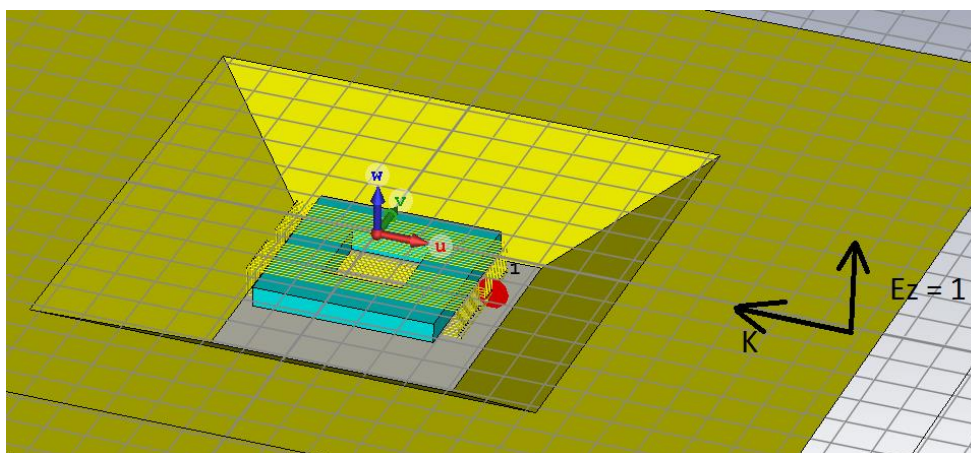


Рис. 10. Магнитная антенна в «ванночке» при падении плоской волны напряженностью 1 В/м на магнитную антенну

Глубина «ванночки» 40 мм. Расстояние по высоте: 15 мм до феррита, 10 мм толщина феррита, 15 мм от феррита до нижней плоскости. Стороны пирамиды составляют 120 мм и 90 мм. Результаты расчета напряжения на выводах магнитной антенны U для такой модели представлены в табл. 4.

Таблица 4. Напряжение на выводах магнитной антенны для разных размеров a (рис. 5)

	без ванночки	$a = 0$	$a = 300$ мм	$a = 400$ мм
U_{FEKO}	0.681 мВ	0.406 мВ	0.392 мВ	0.384 мВ
U_{CST}	0.68 мВ	0.419 мВ	0.407 мВ	0.395 мВ

Как видно, наблюдается хорошее совпадение результатов между расчетными, выполненными на FEKO и CST [5].

Для испытания магнитной антенны, она ставится в бокс, в котором находится линия. Рассматривались случаи: подвешенная подложка (рис. 11), подложка, лежащая на дне: отсутствие подложки (столбики). Возбуждение подается со стороны порта 1, и таким образом, испытательная структура (рис. 11) служит для тестирования магнитной антенны.

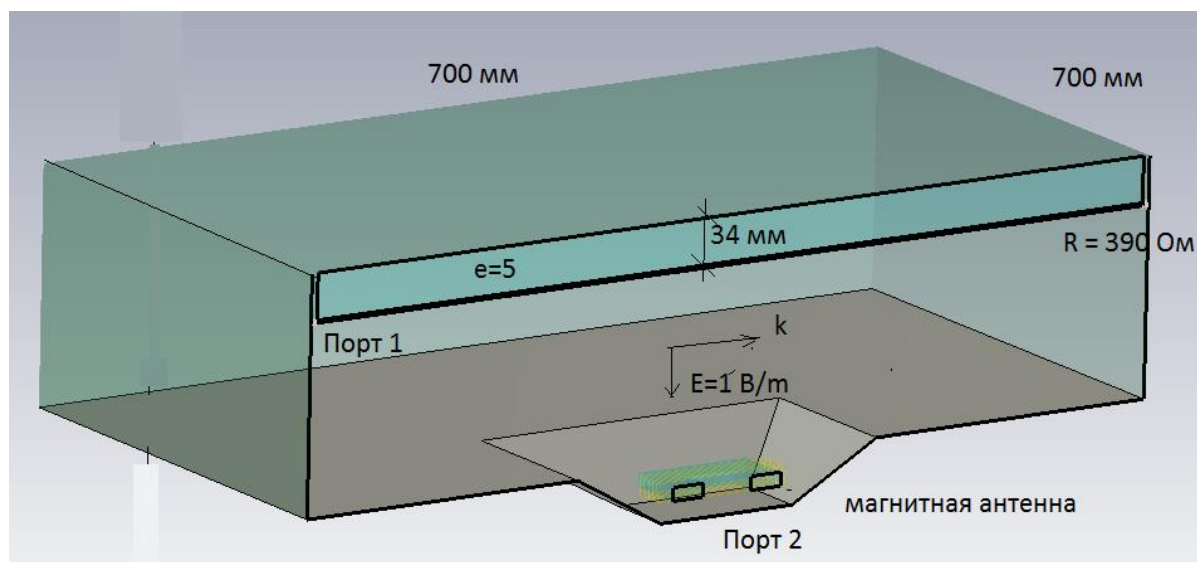


Рис. 11. Сечение измерительной структуры для экспериментального испытания магнитной антенны

Необходимо было найти размеры и величину сопротивления нагрузки линии с подвешенной подложки, которые бы максимально создавали плоскую волну, действующую на магнитную антенну.

Вдоль оси X на рис. 12 показано расстояние до точки в пространстве измерительного бокса, начиная сверху, и таким образом в промежутке между магнитной антенной и линией с подвешенной подложкой отношение между электрическим и магнитным полем (составляющее характеристическое сопротивление) находится между 800 – 100 Ом и слабо меняется с расстоянием. Это свидетельствует о том, что в этом пространстве распространяется плоская волна. Поле E в сечении магнитной антенны показано на рис. 13.

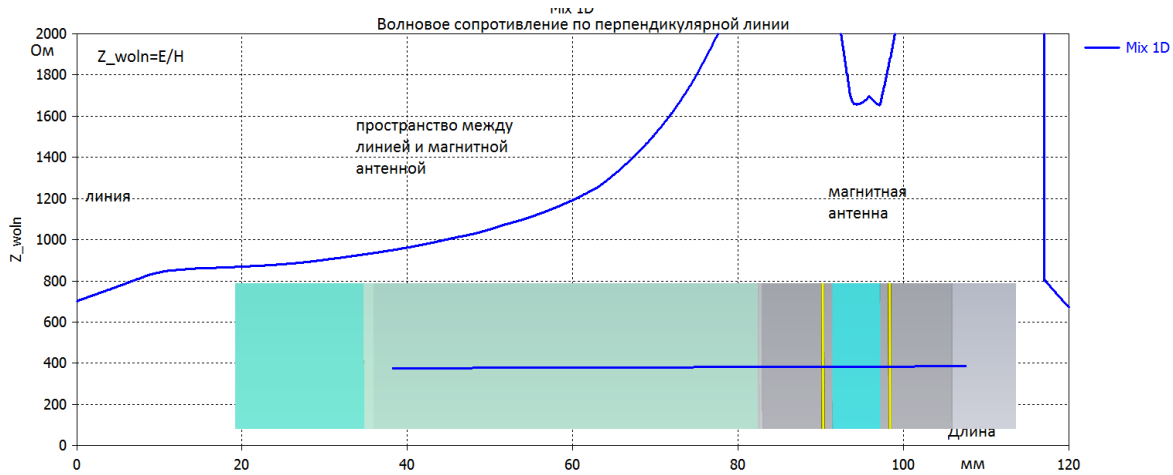


Рис. 12. Рассчитанные значения $Z_{woln}=E/H$ в зависимости от расстояния линии с подвешенной подложкой до тестируемой магнитной антенны

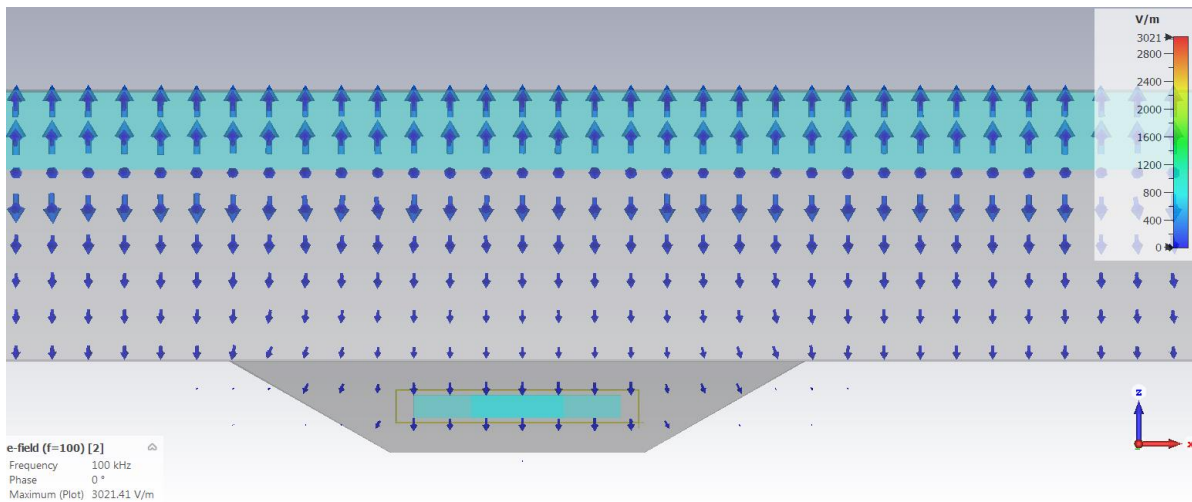


Рис. 13. Поле E в сечении магнитной антенны, возбуждаемой по линии с подвешенной подложкой

Из рис. 13 видно, поле E в сечении магнитной антенны примерно соответствует плоской волне, которая используется при моделировании и расчете антенны. Совместная работа ненаправленной и магнитной антенн дает ДН, трехмерный вид которой приведен на рис. 14.

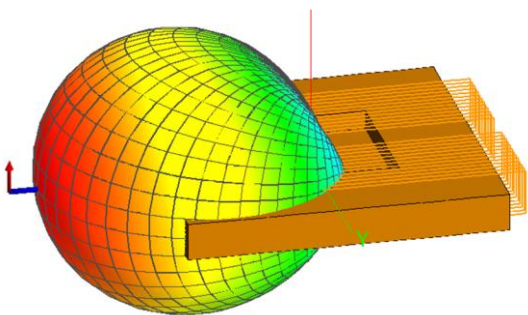


Рис. 14 а. Сечение измерительной структуры для экспериментального испытания магнитной антенны

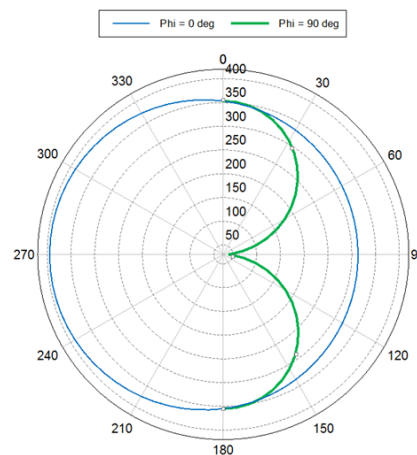


Рис. 14 б. Сечения диаграммы направленности навигационной антенны

Расчет был выполнен с помощью программы FEKO. Вид диаграммы направленности, рассчитанный при оптимальном возбуждении электрической и магнитной антенны, сходен с ДН элемента Гюйгенса.

Выводы. Таким образом, в данной работе показано, как с помощью современного программного обеспечения (программ FEKO и CST) выполнено моделирование навигационной антенны радиопеленгатора. Выполнена оптимизация ненаправленной электрической антенны, а также магнитной рамочной антенны. Расчет выполнен с учетом углубления навигационной антенны в крыле самолета. Расчеты систем навигации, что показывается на примере антенны радиоконпаса, с помощью программ электродинамического моделирования позволяют провести точный расчет и оптимизацию с учетом усложнения конструкции и положения антенн в крыле самолета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиооборудование воздушных судов и его летная эксплуатация : учебное пособие / Е. А. Рубцов, О. М. Шикавко, Б. А. Сушкевич. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербург. гос. ун-т граждан. авиации, 2017. – 120 с.
2. Скрышник О. Н. Радионавигационные системы воздушных судов / О. Н. Скрышник. – Москва : ИНФА-М, 2018. – 348 с.
3. Кинкулькин И. Е. Исследование длинноволновой дифракционной приемной самолетной антенны / И. Е. Кинкулькин // Труды МКБ «Компас». – 1952. – С. 48–55.
4. Пистолькорс А. А. Теория кольцевой дифракционной антенны / А. А. Пистолькорс // Журнал технической физики. – 1944. – Т. 14. – №. 12. – С. 681–692.
5. Банков С. Е. История САПР СВЧ (1950-2010) / С. Е. Банков, А. А. Курушин. – Москва : [б. и.], 2015. – 90 с.

Поступила в редакцию 30.03.2021 г.

DESIGN ANTENNA IN AIRPLANE WING

Davydov A.G., Kurushin A.A.

In this paper, the simulation of the antenna of the radio direction finder is performed using modern electrodynamic modeling programs FEKO and CST, which allows you to optimize the design and calculate the characteristics of the antenna system: ferrite magnetic frame antenna and non-directional pin electric antenna. As an example, the ARK-35 automatic Radio Compass Antenna System, which is embedded in the wing of the airplane, is considered. The calculations allowed to calculate the characteristics of the antenna taking into account the depth diving depth of the antenna system in the metal wing of the airplane.

Keywords: Radio direction locator antenna, modeling radio structure, electrodynamic modeling programs FEKO and CST, non-directional electric antenna, frame magnetic antenna, Huygens element.

Давыдов Александр Георгиевич
кандидат технических наук, начальник
отдела АО «МКБ Компас»,
Российская Федерация, г. Москва.
E-mail: alexanderdavydov@yandex.ru

Davydov Alexandr Georgievich
Candidate of Technical Sciences, Head of
Department design Antena, «МКБ Kompas»,
Russian Federation, Moscow.

Курушин Александр Александрович
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, доцент кафедры радиотехнических
приборов и антенных систем ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет
"Московский Энергетический Институт"»,
Российская Федерация, г. Москва.
E-mail: kurushin@mail.ru

Kurushin Aleksandr Aleksandrovich
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Associate Professor of Moscow Power Engineering
Institute,
Russian Federation, Moscow.

УДК 621.382.2:004.67

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

© 2021 Рушечников Я.И., Яновский А.В., Подлесный В.Ю., Худяков И.И.

В настоящей работе реализована автоматизированная система снятия вольт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводниковых диодов. Экспериментальные данные, полученные в результате работы позволяют в автоматизированном режиме получать ВАХ, что в свою очередь позволит иметь проверочный механизм, благодаря которому появляется возможность верификации ручных измерений.

Ключевые слова: вольт-амперная характеристика, Arduino, полупроводниковые диоды, р-п переход, широтно-импульсная модуляция.

Введение. Измерение номиналов полупроводниковых диодов существенно отличается от измерения различных радиоэлементов, что объясняется зависимостью свойств полупроводниковых приборов от внешних источников (в основном, от температуры), а также нелинейностью ВАХ полупроводников.

Рассматривая первую причину, следует брать во внимание разогрев *p-n* – перехода проходящим током во время измерений, из-за чего необходимо исследуемый диод обеспечить отводом тепла и ограничить время измерения.

Вторая причина же, обязывает проводить измерения при определенных значениях напряжения и силы тока.

Постановка задачи. На данном этапе развития электроники и техники, лидирующие позиции по количеству применений занимают полупроводниковые компоненты, будь то диоды, транзистор или же компоненты, выполненные с их применением. Так или иначе наиболее широко применяются свойства *p-n* перехода. Постоянный рост технических требования к компонентам в виду более жестких режимов их работы требует применений максимально точных методов оценки параметров компонентов, как на этапе производства, так и в их работе, для предупреждения преждевременных выходов их строя оборудования или же ухудшения его технических характеристик.

Р-п переход и его свойства. Электронно-дырочный переход (*p-n* переход) – это контакт двух проводников с различным типом проводимости. Изготавливается он обычно из одного кристалла полупроводника, в котором формируются области с повышенной концентрацией акцепторной примеси (*p*-область) и донорной примеси (*n*-область).

В условиях равновесия (отсутствие внешнего электрического поля) полный ток через переход (дрейфовый плюс диффузионный) носителей каждого знака равен нулю.

Прямое включение сопровождается инжекцией – введением носителей заряда в область полупроводника, где они являются неосновными из-за снижения потенциального барьера. Вследствие инжекции растет концентрация неосновных носителей заряда вне *p-n* перехода, т. е. в *p*- и *n*-областях.

При обратном включении *p-n*-перехода внешнее напряжение прикладывается плюсом к *n*-области, а минусом к *p*-области, напряженность электрического поля в переходе будет возрастать и потенциальный барьер перехода будет повышаться.

ВАХ полупроводника. Рассмотренные свойства идеализированного р-п-перехода подтверждаются его вольт-амперной характеристикой (ВАХ) – зависимостью тока через переход от напряжения на переходе, которая может быть представлена уравнением:

$$I = IT \left(\exp\left(\frac{u}{\phi T}\right) - 1 \right),$$

где IT – тепловой ток (ток насыщения), $\phi T = kT/e$ – тепловой потенциал.

ВАХ идеального р-п-перехода и реального диода показаны на рис. 1.

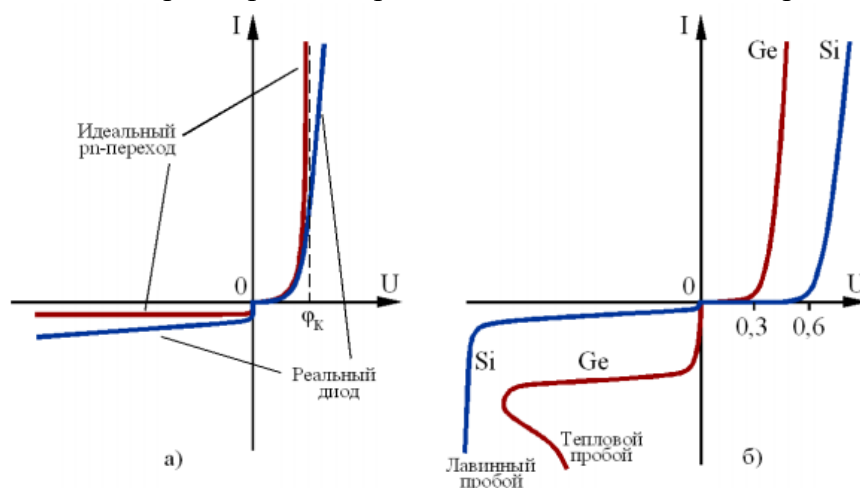


Рис. 1. ВАХ идеального р-п-перехода и реального диода(а);
ВАХ германиевого и кремниевого диодов (б)

Как показано на рис. 1, ВАХ реального диода отличается от ВАХ идеального р-п-перехода. При прямом включении эти отличия обусловлены рекомбинацией носителей заряда в р-п-переходе и падением напряжения на сопротивлении базы диода (б). Рекомбинация в переходе приводит к дополнительному возрастанию прямого тока, поэтому начальный участок прямой ветви ВАХ реального диода проходит несколько выше идеальной ВАХ.

На рис. 1, б показаны ВАХ германиевого и кремниевого диодов. Прямые ветви ВАХ имеют похожий вид, однако ВАХ кремниевого диода расположена правее ВАХ германиевого диода, что объясняется разной величиной контактной разности потенциалов их р-п-переходов.

Оценка состояния полупроводника по его ВАХ. Исходя из описанного, оценка состояния полупроводникового прибора может быть произведена при помощи определения его ВАХ. Также по смещению ВАХ [1] можно определять тепловые режимы работы непосредственно самого перехода. В упрощённом виде исследование ВАХ перехода можно провести при помощи схемы, представленной на рис. 2.

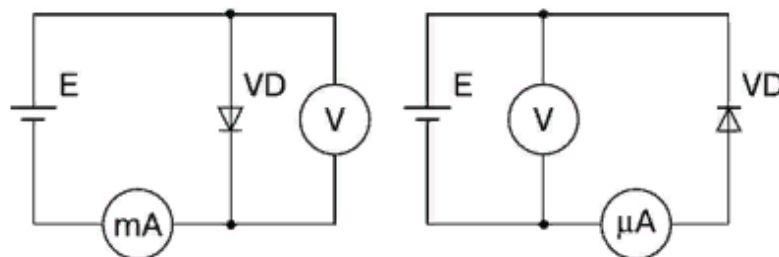


Рис. 2. Упрощенная схема изменения ВАХ полупроводника

Для измерения ВАХ необходимо получить зависимость напряжения падения на переходе (V) и тока в цепи (mA) от напряжения питания (E). При этом, для получения прямой и обратной ветви ВАХ необходимо переключать полярность источника питания. Данная методика измерения в ручном режиме требует весьма больших временных затрат.

Для определения ВАХ в автоматическом режиме предлагается использовать программно-аппаратный комплекс, изготовленный на основе отладочной платы Arduino на микроконтроллере ATmega328 [2].

Для упрощения и автоматизации процесса измерения, можно применить возможности данной отладочной платы. Например, в качестве источника смещения перехода можно использовать напряжение, сформированное при помощи интегрирующей цепи с выхода ШИМ отладочной платы, а в качестве вольтметра использовать АЦП описанной платы.

Схема для подключения перехода к отладочной плате представлена на рис. 3.

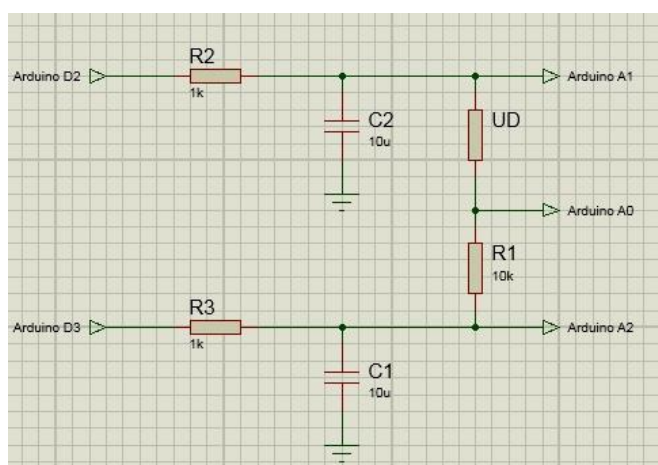


Рис. 3. Схема подключения полупроводникового прибора к отладочной плате

На данной схеме интегрирующие цепи R2C2 и R3C1 используются для преобразования ШИМ сигнала в изменяющееся постоянно напряжение, при этом разница преобразованных сигналов поступает на исследуемый переход (UD) через токоограничивающий резистор, и по совместительству, датчик тока R1.

К датчику тока и контролируемому переходу подключены входы АЦП отладочной платы, такое включение позволяет контролировать как ток протекающий в цепи, по напряжению падения на токовом датчике R1 (разница значений A0 и A2), так и напряжение на исследуемом переходе (разница значений A1 и A0). Включение исследуемого перехода между выходами своего рода цифро-аналоговых преобразователей позволят производить исследование как прямой, так и обратной ветви ВАХ не переключая выводы компонента. При этом размах амплитуды напряжения при измерении составляет удвоенную величину питания платы и при питании устройства от 5 В составит 10 В. Для получения данных о протекающем токе и напряжении падения на переходе применён 10-разрядный АЦП, при этом есть возможность программно переключать источник опорного напряжения для АЦП, изменяя его чувствительность от 2,5 мВ до 5 мВ на отсчет.

Прототип устройства автоматизированного получения ВАХ. Устройство реализовано в виде приставки к отладочной плате Arduino NanoV3.0. Для обеспечения и высокой точности измерений необходимо применение высококачественных компонентов, резисторов с высоким классом точности и конденсаторов с низкими утечками.

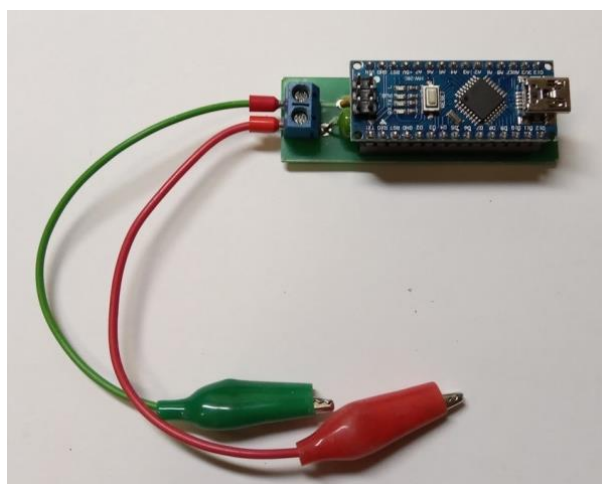


Рис. 4. Прототип автоматизированного устройства получения ВАХ

Результаты получения ВАХ. На представленных результатах присутствуют искажения в виде прямой линии от крайней й левой точки ВАХ до крайней правой, это искажения описываются особенностью используемого инструмента построения графика, данные графики носят, демонстративны характер. В дальнейшем данную систему можно дополнить более информативным инструментом вывода и, например, с возможностью сравнения графиков, сделанных на одном и том же переходе с течением времени для выявления изменений в работе перехода или воздействий на него температуры и т. д.

На рис. 5 и рис. 6 приведена ВАХ полупроводникового диода отечественного производства Д9Д [3]. Из представленной характеристики видно, что диод находится в исправном состоянии.

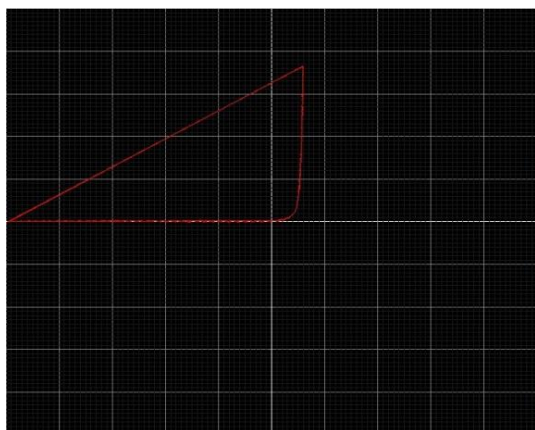


Рис. 5. ВАХ диода Д9Д, полученная при помощи автоматизированной системы

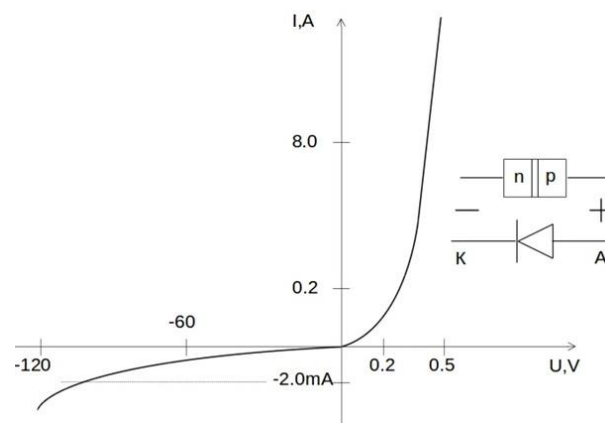


Рис. 6. Справочная информация о ВАХ диода Д9Д

На рис. 7 и рис. 8 представлена ВАХ диода отечественного производства КД522, как видно из представленной ВАХ, диод находится в исправном состоянии, а падение напряжение на р-п переходе больше, нежели на Д9Д. Это связано с разными материалами полупроводника (для КД522 это кремний и падение напряжения $-0.5 \dots 0.7$ В, а для Д9Д – германий $0.3 \dots 0.4$ В).

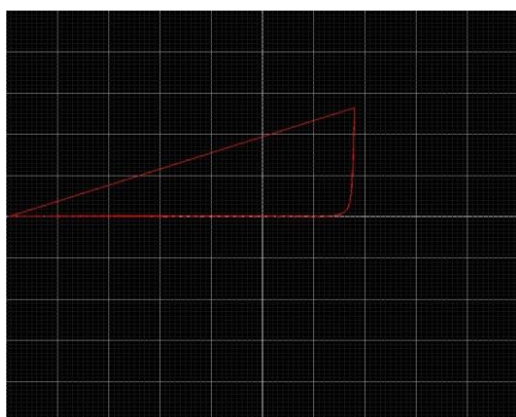


Рис. 7. ВАХ диода КД522, полученная при помощи автоматизированной системы

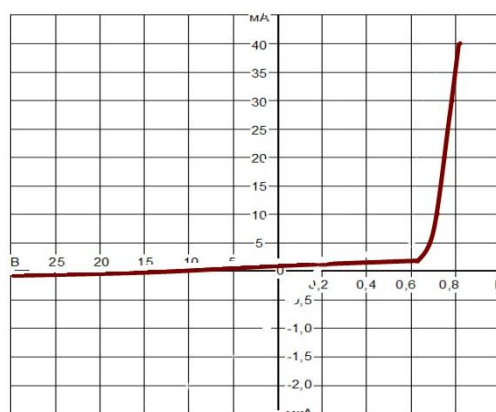


Рис. 8. Справочная информация о ВАХ диода КД522

Также для демонстрации обнаружения выхода из строя или полупроводникового прибора к устройству был подключён резистор (имитация повреждённого перехода), его измеренная ВАХ приведена на рис. 9.

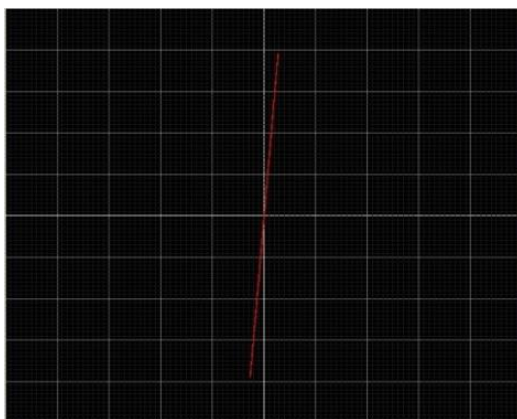


Рис. 9. ВАХ резистора

Как видно из представленного на рис. 9 эксперимента, ВАХ имеет правильную для резистора форму (линейная характеристика, проходящая через начало координат), и отличается от приведенных ранее ВАХ полупроводниковых приборов.

Выводы. Несмотря на то, что измерения, сделанные при помощи разработанного устройства, являются довольно точными, считать его измерительным прибором все же нельзя по ряду причин:

1. Данным программным аппаратным устройством не реализовано получение нижней ветви ВАХ.
2. При последовательных измерениях аппаратное устройство накапливает ошибку, которая несколько искажает график ВАХ.
3. Из-за особенности аппаратной платформы Arduino, а именно разрядности АЦП / ШИМ, в результате получаем не полную картину вольтамперной характеристики.

Но продемонстрированные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования описанного устройства для контроля за состоянием полупроводниковых приборов. Например, при изменении кривой ВАХ сообщать о повреждении полупроводникового перехода, или при смещении кривой, определять температуру p-n перехода, предотвращая выход из строя. Таким образом описанное устройство и его принципы работы могут найти применение в системах автоматизированного контроля

как на производстве полупроводниковых компонентов для контроля качества, так и для слежения за режимами работы и предупреждения выходов из строя полупроводниковых компонентов. Так же данное устройство можно использовать в учебном процессе для проверки ручных измерений ВАХ диодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерение параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных микросхем. – Текст : электронный // Bstudy.net : [сайт]. – URL: https://bstudy.net/729143/tehnika/izmerenie_parametrov_poluprovodnikovyh_diodov_tranzistorov_integralnyh_mikroshem (дата обращения: 01.04.2021).
2. Строим ВАХ на Arduino. – Текст : электронный // Хабр : [сайт]. – URL <https://habr.com/ru/post/369485/> (дата обращения: 01.04.2021).
3. Лавриненко В. Ю. Справочник по полупроводниковым приборам / В Ю. Лавриненко. – Изд. 6-е, стереотип. – Киев : Техніка, 1971. – 380 с.

Поступила в редакцию 06.04.2021 г.

AUTOMATED COMPLEX FOR OBTAINING VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR DIODES

Rushechnikov I.A.I., IAnovskii A.V., Podlesnyi V.IU., KHudiakov I.I.

In this paper we have implemented an automated system for taking the current-voltage characteristic of semiconductor diodes is implemented. Experimental data obtained as a result of work in the automated mode of obtaining the I - V characteristic make it possible to obtain a verification mechanism, which makes it possible to obtain a verification mechanism.

Keywords: current-voltage characteristic, Arduino, semiconductor diodes, p-n junction, pulse-width modulation.

Рушечников Ярослав Иванович

ассистент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: yaroslavrushechnikov@gmail.com

Rushechnikov IAroslav Ivanovich

Assistant Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Яновский Александр Вадимович

аспирант кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: alexyana1994@mail.ru

IAnovskii Aleksandr Vadimovich

Postgraduate student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Подлесный Владимир Юрьевич

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: kiritob155@outlook.com

Podlesnyi Vladimir IUrevich

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Худяков Игорь Иванович

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: igorhudakov71@gmail.com

KHudiakov Igor Ivanovich

Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

И Н Ф О Р М А Т И К А , В Ы Ч И С Л И Т Е Л Ь Н А Я Т Е Х Н И К А И У П Р А В Л Е Н И Е



УДК 004.01

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ В КОНТЕКСТЕ ПРОВЕРКИ ПОДЛИННОСТИ ДОКУМЕНТОВ

© 2021 Костенков В.С., Данилов В.В., Тимошенко Н.А.

В данной статье приводится анализ положений о методах идентификации и аутентификации пользователей в информационных системах по обеспечению контроля подлинности документов. Проанализированы особенности функционирования автоматизированных систем контроля и управления доступом в контексте проверки подлинности документов. Данная система рассматривается авторами как альтернативный подход к обеспечению контроля подлинности документов.

Ключевые слова: информационная система, идентификация, аутентификация, DAC, MAC, RBAC, ABAC, типы систем контроля и управления доступом.

Постановка проблемы. Эффективность эксплуатации систем электронного документооборота во многом зависит от совершенствования механизмов по обеспечению информационной безопасности. Важную роль в подобных системах занимает процедура идентификации и аутентификации пользователей. Она ориентирована на подтверждение легитимности той или иной операции с электронными документами. Однако увеличивающееся количество проводимых исследований [1-3] в данном направлении подчеркивает актуальность выбранной темы.

Анализ исследований. Исследованием вопроса, связанного с изучением идентификации и аутентификации пользователей в информационных системах (далее – ИС), занимались учёные: Швырев Б. А. [4], Девянин П. Н. [5], Исхаков А. Ю. [6] и другие. Вместе с тем, многоаспектность проблем, касающихся разработки системы автоматизированной идентификации и аутентификации пользователей в контексте проверки подлинности документов, обуславливает насущную потребность в дальнейших исследованиях по данному направлению.

Целью данной работы выступает исследование и обобщение научных положений о методах идентификации и аутентификации пользователей в информационных системах по обеспечению контроля подлинности документов. В соответствии с поставленной целью, необходимо решить следующие задачи: 1) анализ процедуры идентификации и аутентификации пользователей; 2) анализ моделей управления доступом; 3) анализ типов систем контроля и управления доступом.

Основной материал. Эффективность контроля подлинности документов в первую очередь зависит от качества реализации механизма идентификации и аутентификации пользователей. Под идентификацией субъекта, действующего от имени определенного пользователя / аппаратно-программного компонента, подразумевается процедура его распознавания по идентификатору при попытке обратиться к ИС. Пользователь при осуществлении запроса отправляет свой идентификатор, который проверяется системой в соответствующей базе данных. Под аутентификацией подразумевается процедура проверки подлинности заявленного субъекта. Эта проверка удостоверяет факт того, что

пользователь / процесс действительно тот, за кого он себя выдает. Существуют несколько подходов к аутентификации [4]: 1) односторонняя (только пользователь / процесс доказывает свою подлинность ИС); 2) двусторонняя (взаимное доказательство своей подлинности). При разработке информационной системы необходимо учитывать следующие аспекты: 1) определить метод идентификации / аутентификации (что является идентификатором / аутентификатором для подтверждения подлинности субъекта); 2) определиться со способом организации обмена данными идентификации / аутентификации. Следует учитывать, что в сетевой среде взаимодействующие стороны территориально удалены друг от друга. В подобном случае не существует доверенного маршрута передачи информации, что порождает необходимость в обеспечении защиты от пассивного и активного прослушивания сети, то есть, от перехвата, изменения или воспроизведения данных.

В целом, процессы идентификации и аутентификации субъектов являются взаимосвязанными. Именно от них зависит последующее решение информационной системы о возможности разрешения доступа к ресурсам конкретному пользователю или процессу [5]. Проанализируем модели управления доступом для представленной нами на рисунке 1 принципиальной схемы информационной системы. Образующим элементом данной системы является сеть передачи данных (далее - СПД). Подобные СПД состоят из центрального узла (далее – ЦУ), узлов (далее – УС) и каналов связи. В задачи ЦУ входят: 1) разработка и совершенствование нормативной правовой основы деятельности субъектов информационной системы; 2) контроль за выполнением нормативных документов; 3) организация и осуществление мер по предупреждению, пресечению, выявлению и устранению правонарушений в действующей информационной системе; 4) выявление и устранение нерегламентированных возможностей информационной системы; 5) координация действий между УС; 6) распределение привилегий между всеми участниками информационной системы.

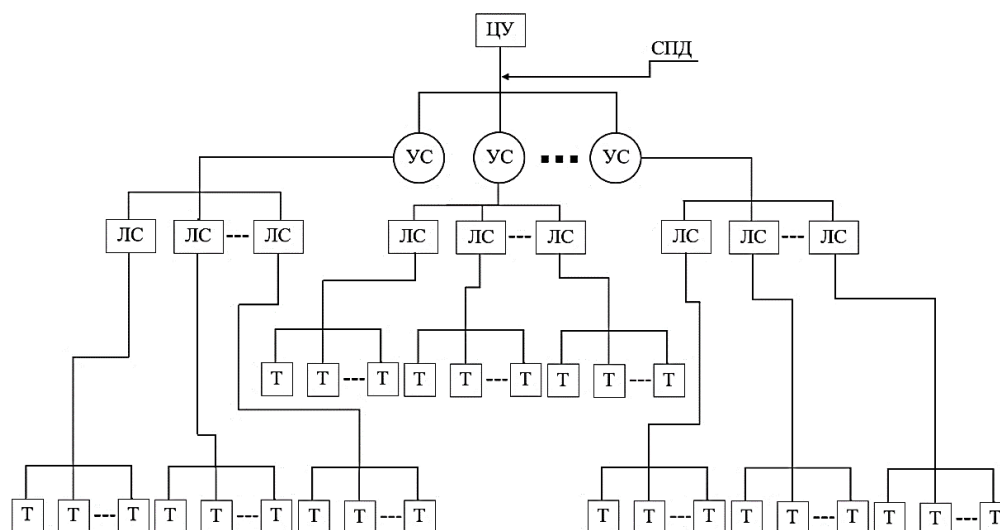


Рис. 1. Принципиальная схема информационной системы

В задачи УС входят: 1) прием и последующая передача пакетов в направлениях, которые обеспечивают оптимальную доставку данных; 2) контроль за выполнением нормативных документов; 3) организация и осуществление мер по предупреждению, пресечению, выявлению и устранению правонарушений в подотчетной системе. Совокупность объединенных сетью передачи данных локальных серверов (далее – ЛС),

подключаемых к узлам связи, образует локальную вычислительную сеть. Множество терминалов (Т) и средств связи (далее – СС), обеспечивающих подключение терминалов к ЛС, образует терминальную сеть.

Под дискреционным управлением доступом (далее - DAC) принято понимать управление доступом субъектов к объектам ИС на основе заданной матрицы доступа. В данной матрице описаны возможные типы доступа (чтение, запись и т.д.), которые доступны для конкретного пользователя или процесса к данному ресурсу. Существуют несколько правил по построению модели DAC: 1) для каждого объекта в ИС имеется привязка определенного субъекта, который является владельцем. Именно субъект задает права на доступ к конкретному объекту; 2) пользователь / процесс с разрешенным правом доступа может передавать данное право иному субъекту; 3) в ИС существует только один выделенный субъект, который может устанавливать права владения для всех остальных пользователей / процессов системы. Необходимо учитывать, что существуют и смешанные варианты построения системы, когда присутствуют: 1) суперпользователь - субъект, имеющий возможность изменять права для любого объекта и менять его владельца; 2) субъекты, устанавливающие права доступа к принадлежащим им объектам. Данная модель управления доступом является основой для реализации разграничительной политики доступа к ресурсам при работе с электронными документами.

Под мандатной моделью (далее - MAC) принято понимать управление доступом пользователей / процессов к объектам ИС на основе процедур назначения специализированных меток уровня допуска к электронным документам и выдачи официальных разрешений субъектам на обращение к информации такого уровня конфиденциальности. Подобная система запрещает субъекту, обладающему определённым уровнем доверия, получать доступ к объектам ИС более защищённого уровня. MAC является основой для реализации механизмов защиты электронных документов информационной системы от их модификации. При этом данная модель доступа практически не используется обособленно, а дополняется элементами других моделей доступа. В соответствии с требованиями ФСТЭК, использование данной модели управления доступом отличает старшие классы 1В и 1Б от младших классов в системе защиты Государственной Тайны России. Ключевым достоинством мандатной модели управления доступом является то, что пользователь информационной системы функционально ограничен при взаимодействии и разграничении прав доступа к электронным документам, которые им созданы. Установленные администратором политики доступа к документам всецело регламентируют возможности пользователя ИС на делегирование полномочий другим пользователям локальной сети на работу с принадлежащими ему ресурсами.

Под управлением доступом на основе ролей (далее - RBAC) принято понимать не зависящий от политик механизм управления правами доступа к электронным документам. Права доступа субъектов информационной системы на объекты группируются с учётом специфики их применения, образуя роли и привилегии. Привилегии того или иного субъекта формируются исходя из совокупности назначенных ролей. Данный подход предпочтителен для систем, в которых строго регламентированы функциональные обязанности каждого пользователя. Следует учитывать, что наследование полномочий от противоположных ролей ограничено, что обеспечивает качественное разделение режимов. Для данной модели характерны такие правила: 1) субъект способен выполнять только то действие, разрешение на которое ему делегировано ролью; 2) субъект может выполнять только те роли, действия для которых

авторизованы; 3) субъект способен использовать только те разрешения, на которые он авторизован. Роли могут объединяться и иерархично упорядочены. В данном случае совокупность ролей более высокого уровня включает в себя подчинённые множества ролей.

Под управлением доступом на основе атрибутов (далее - АВАС) принято понимать модель, которая базируется на анализе правил для атрибутов объектов и субъектов, возможных операций с ними и окружением. АВАС базируется на мандатном и избирательном управлениях доступом. Данный подход предполагает наличие единственного источника, который и занимается распределением прав доступа к электронным документам ИС. Структура управления доступом в подобной модели состоит из следующих элементов: 1) механизма оценки (далее – PDP) цифровых политик и метаполитик, на основании чего принимается решение о доступе к электронному документу; 2) механизма исполнения (далее – PEP) решения PDP в ответ на запрос пользователя или процесса о доступе к электронному документу, 3) информационного механизма (далее – PIP), обеспечивающего PDP нужными данными об атрибутах для дальнейшей оценки и принятия решения; 4) механизма администрирования (далее – PAP), обеспечивающего информационно-техническое сопровождение цифровых политик и метаполитик. Все перечисленное обеспечивает согласованность доступа к электронным документам между подсистемами.

Примером реализации стандарта на примере АВАС является расширяемый язык разметки контроля доступа (далее - XACML). В нем атрибуты, связанные с субъектом, действием или объектом, являются входными данными для принятия решения о предоставлении доступа к электронному документу. Основной целью создания XACML было обеспечение функциональной совместимости между реализациями управления доступом нескольких разработчиков.

Перечисленные модели реализуются в системах контроля и управления доступом, архитектура которых может представлять: 1) децентрализованный подход; 2) централизованный подход с единым механизмом принятия решений; 3) централизованный подход со встроенным механизмом принятия решений.

Наиболее приоритетным является комбинирование децентрализованного и централизованного типов систем в контексте проверки подлинности документов.

В децентрализованном типе системы контроля доступа PDP и PEP реализуются в рамках службы авторизации. Отметим, что все правила и атрибуты определены и хранятся на соответствующих УС. Применение данного подхода позволяет администраторам использовать более гибкие правила контроля доступа. Это связано с тем, что узел связи обладает всеми необходимыми данными доменной модели.

В централизованном типе системы контроля доступа со встроенным механизмом принятия решений правила контроля определяются централизованно в ЦУ, но хранятся и оцениваются на уровне УС. При использовании данного подхода необходимо учитывать, что кэширование всех решений по авторизации может привести к применению устаревших правил авторизации и нарушениям правил контроля доступа к электронным документам.

Выводы.

- 1) проведен анализ построения процедуры идентификации и аутентификации пользователей ИС;
- 2) изучены существующие модели управления доступом;
- 3) проведен анализ типов систем контроля и управления доступом в контексте проверки подлинности документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Varabanov A. Справочник security-архитектора: обзор подходов к реализации аутентификации и авторизации в микросервисных системах / Alexander Varabanov. – Текст электронный // Хабр : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/company/huawei/blog/527098/> (дата обращения: 22.12.2020).
2. Река М. Биометрическая аутентификация: истоки, хаки и будущее / Марика Река. – Текст : электронный // Хабр : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/company/asus/blog/408407/> (дата обращения: 27.12.2020). – Дата публикации: 27 ноября 2017.
3. Kaspersky_Lab Security Week 38: MITM-атака на карты Visa / Kaspersky_Lab. – Текст : электронный / Хабр : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/company/kaspersky/blog/519098/> (дата обращения: 29.12.2020). – Дата публикации: 14 сентября 2020.
4. Швырев Б. А. Динамическая аутентификация пользователей как компонент информационной безопасности / Б. А. Швырев. – Текст : электронный // Образование и наука в России и за рубежом. – 2018. – № 8 (43). – URL: <https://www.gyml.ru/statyi/ru/589/> (дата обращения: 06.01.2021).
5. Devyanin P.N., Kulyamin V.V., Petrenko A.K., Khoroshilov A.V., Shchepetkov I.V. Integrating RBAC, MIC, and MLS in Verified Hierarchical Security Model for Operating System. Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS). 2020; 32(1):7-26. (In Russ.) [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32\(1\)-1](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32(1)-1) (дата обращения: 09.01.2021).
6. Исхаков А. Ю. Реализация подсистем идентификации и аутентификации в системах контроля и управления доступом посредством современных идентификационных признаков / А. Ю. Исхаков, Р. В. Мещеряков // Специальная техника. – 2017. – № 1. – С. 52-58.

Поступила в редакцию 25.02.2021 г.

FEATURES OF ACCESS CONTROL IN INFORMATION SYSTEMS IN THE CONTEXT OF DOCUMENT AUTHENTICITY CHECK

Kostenkov V.S., Danilov V.V., Timoshenko N.A.

This article provides an analysis of the provisions on the methods of identification and authentication of users in information systems to ensure control over the authenticity of documents. The features of the functioning of automated control and access control systems in the context of document authentication are analyzed. This system is considered by the authors as an alternative approach to ensuring control over the authenticity of documents.

Keywords: information system, identification, authentication, DAC, MAC, RBAC, ABAC, types of access control and management systems.

Костенков Владислав Сергеевич

аспирант кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: vlad.kostenkov2016@yandex.ru

Kostenkov Vladislav Sergeevich

Postgraduate student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Тимошенко Нина Александровна

кандидат юридических наук, доцент, доцент кафедры уголовного права и процесса ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: n.timowenko@gmail.com

Timoshenko Nina Aleksandrovna

Candidate of Laws, Docent, Associate Professor at Department of Criminal Law and Procedure of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 004.9:621.3

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© 2021 *Винник А.О., Мартыненко А-А.М., Бондаренко В.И.*

В настоящей статье приведен метод автоматизации мониторинга энергопотребления на предприятиях угольной промышленности на примере шахты им. А.А. Скочинского. Разработанное программное обеспечение позволяет сократить энергозатраты до 5%.

Ключевые слова: энергопотребление, сокращение затрат, мощность, программное обеспечение, система мониторинга, датчик, C#, ASP.NET, TCP, HTTP, Rest-API, Web-socket.

Введение. Для нашего региона тяжелая промышленность - это не только стержень экономического обеспечения, но и причина становления Донбасса. Донбасский угольный бассейн занимает десятое место в мире по залежам угля (141 миллиард тонн), что обуславливает развитую добывающую отрасль. Тяжелая промышленность приносит много материальных и экономических средств, но и требует затрат огромного количества ресурсов, например: электроэнергии. Зачастую энергопотребление является избыточным и неконтролируемым. Одним из способов сокращения затрат на энергопотребление является создание специального программного обеспечения для мониторинга.

Целью работы является создание программного обеспечения (ПО) для мониторинга энергопотребления, которое позволит повысить энергоэффективность на предприятиях угольной промышленности.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

- проведено исследование энергопотребление на предприятии угольной промышленности на примере шахты им. А.А. Скочинского;
- изучены методы сокращения затрат и возможность управления процессом энергозатрат при помощи ПО.

Структура энергопотребления шахты. Шахта им. Скочинского расположена в Кировском районе г. Донецка. Под выработку, шахте отведены 100 км² с запасами 150 млн. тонн. За счет большой температуры пластов и большого содержания метана, условия труда на данном предприятии сопряжены с огромным риском для жизни и здоровья работников шахты.

Для полноценного функционирования шахты и обеспечения безопасности сотрудников при разработке угольных пластов на шахте работает определенное количество различного оборудования и цехов, каждый из которых является потребителем электроэнергии. Шахта располагает следующим рядом потребителей:

- ❖ **поверхностные объекты (71%):**
 - главные вентиляционные установки (34,7%);
 - подъемные установки (12,6%);
 - компрессорные установки (5%);
 - дегазационные установки;
 - теплотехнические установки (2,3%);
 - технологический комплекс (3,5%);
 - прочие поверхностные потребители (12,8%);

- ❖ подземные объекты (29%):
 - главные и вспомогательные водоотливочные установки (20,3%);
 - подземный транспорт (2,3%);
 - добычные участки (4%);
 - подготовительные участки (2%);
 - прочие подземные устройства (0,4%).

Согласно данным на январь 2017 года шахта потребила 6175,24 т. кВт/ч. Учитывая специальный тариф (пиковая зона – 4.734 руб, полупиковая – 2.6826, ночная – 0.6575 за 1 кВт/ч.) на электроэнергию, вычислим во сколько обходится работы шахтного предприятия в месяц. Пиковая зона длится 6 часов, полупиковая – 11 часов и ночная – 7 часов. Плата за электроэнергию в месяц составляет: 16085182.6 руб. Следовательно, в год на поддержание шахты уходит 193022191 руб. Важно заметить, что данная сумма – это затраты на электроэнергию; не учитывая обслуживания оборудования, зарплаты сотрудникам и т.д.

Способы контроля потребления электроэнергии шахты. Шахта им. Скочинского была введена в эксплуатацию в 1975 г. и с тех пор реконструкции и замены оборудования практически не проводились. Аналогичная ситуация и на прочих шахтах Донбасса. То есть, вычисление потребляемой в данный момент электроэнергии тем или иным устройством на шахте происходит вручную. Например, чтобы определить, много ли потребляет энергии система вентиляции, работник сравнивает значение барометров на входе и на выходе вентилятора, получая величину называемую депрессией. Через депрессию можно вычислить мощность вентилятора (кВт) в данный момент. Мощность на валу вентилятора (N_B) вычисляется по формуле:

$$N_B = \frac{Q_B H_B}{1000 \eta_B},$$

где Q_B – производительность в рабочем режиме ($\text{м}^3/\text{с}$);

H_B – депрессия в том же режиме (Па);

η_B – статический коэффициент полезного действия для этого режима [1].

Этот метод медленный и не позволяет полностью оценивать объемы потребляемой электроэнергии на вентиляторах. Следовательно, невозможно следить за энергопотреблением каждого из модулей шахты в режиме реального времени.

Согласно исследованиям 2007 года, потенциал энергоснабжения любой шахты можно разделить на следующие группы:

- повышение эффективности работы действующего оборудования и плановая замена устаревшего – 46%;
- замена энергоносителей – 37%;
- утилизация тепла – 8%;
- внедрение систем управления электроснабжением и электропотреблением – 3%;
- снижение потерь в системах электроснабжения, водоснабжения, теплоснабжения и др. – 4%;
- организационные мероприятия по энергосбережению – 2% [2].

В настоящий момент в России и дальнем зарубежье для уменьшения энергопотребления на шахтных предприятиях применяются следующие меры:

- модернизация и замена шахтного оборудования;
- минимизация потерь энергоресурсов [3].

Однако, уменьшение затрат на энергопотребление с помощью указанных мер невозможно без полноценного мониторинга и учета потребления электроэнергии на шахте. Необходимыми данными контроля и учета электроэнергии шахты Донбасса не располагают. В России в 2017 г. для решения данной проблемы была предложена автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электроэнергии (АИИСТУЭ).

Разработка программного обеспечения для мониторинга энергопотребления шахты. Решением проблем, связанных с уменьшением объема энергопотребления, в нашем регионе может послужить собственное ПО с небольшой себестоимостью, дающее возможность проанализировать «узкие» места каждого предприятия и позволяющее на основе полученных данных предпринять меры по уменьшению энергопотребления.

Рассмотрим технологию работы предлагаемого программного комплекса. К любому устройству, потребляющему электроэнергию, например, к насосу, подключаются датчик мощности и счетчик электроэнергии. Данные с этих датчиков поступают на мини-компьютер. Компьютер посредством TCP-протокола отправляет данные на сервер, где они разделяются на три потока:

- запись в базу данных;
- отправка данных на клиентские приложения;
- первичный анализ.

На любом из пользовательских клиентов (компьютерах, телефонах), данные отображаются в удобном для пользователя виде в реальный момент времени. Клиентское приложение дает возможность различного анализа данных и формирования отчетов. Разработанное ПО является набором программных средств, которые связаны друг с другом различными протоколами и обмениваются данными. При этом непредвиденное завершение работы какого-либо из компонентов системы не должно вызывать аварийное завершение работы всей системы. Каждый модуль постоянно проверяет работоспособность других частей комплекса, и, например, если TCP-сервер выключится по непредвиденным обстоятельствам, датчики перестанут на него писать, а клиенты не будут получать информацию в реальном времени, однако, всё ещё смогут получать историю отчетов с API-сервера.

Программный комплекс состоит из следующих программных средств (рис. 1):

- контроллер устройств – ПО мини-компьютера непосредственно возле самого устройства, предназначенное для преобразования данных, полученных с устройства, в json-формат и отправка данных по протоколу TCP на сервер;
- tcp-сервер – серверный модуль, работающий по протоколу TCP, задачей которого является получение данных с мини-компьютеров, запись данных в базу данных, первичный анализ данных и отправка данных на пользовательские клиенты;
- rest-api сервер – еще один серверный модуль, который предназначен для получения записей из журнала базы данных, а также являющийся прослойкой безопасности между базой данных сервера и клиентскими приложениями;
- библиотека классов для системы мониторинга и учета, нацеленная прежде всего на обеспечение гибкости приложения. Интерфейсы и классы, представленные в этой библиотеке, позволяют не только приспособить систему к конкретному предприятию, но и дают возможность создавать различные клиентские приложения: desktop-приложения, android-приложения, web-приложения.

▪ клиентские приложения, обладающие различными функциональными возможностями мониторинга и учета, являющиеся средой, которая анализирует данные и предоставляет их пользователю в понятном для него виде.

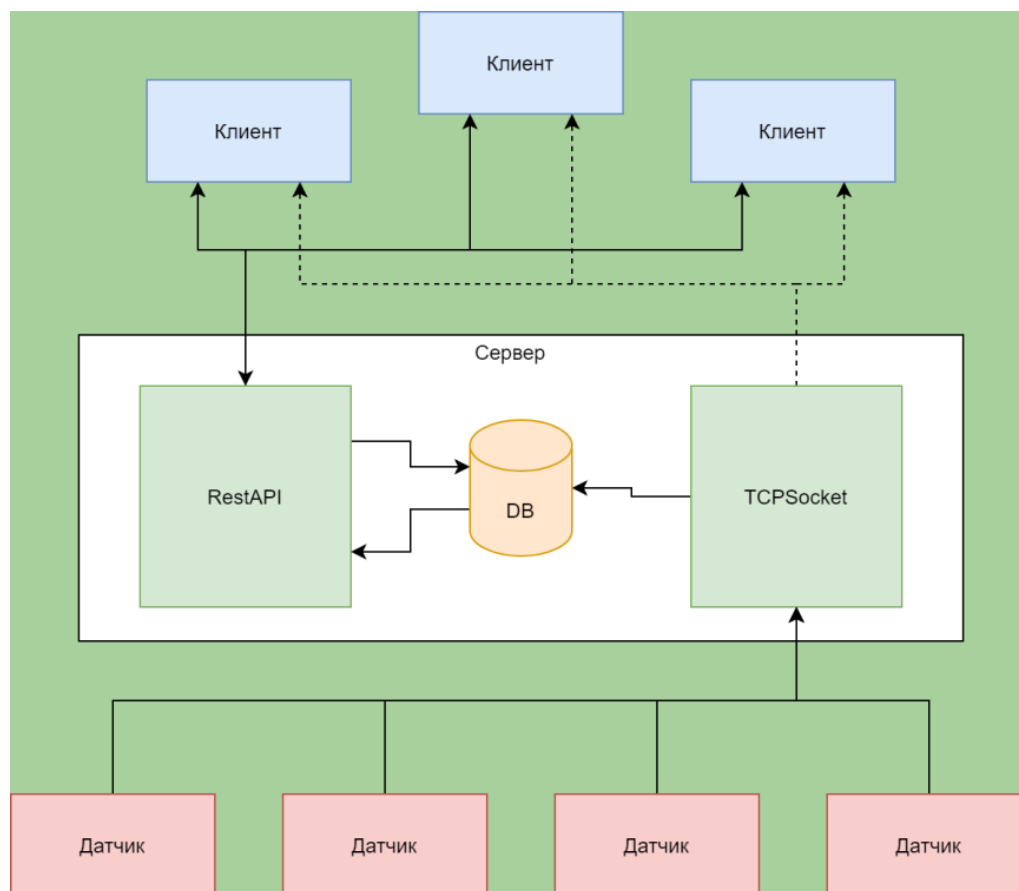


Рис. 1. Схема программного комплекса мониторинга энергопотребления

Распространенным способом реализации подобного решения является система автоматизации технологических процессов (АСУ ТП). Именно на ней создан российский аналог, основанный на Trace Mode. Мониторы Trace Mode отлично подходят для наблюдения и оповещения в реальном времени, но такая система характеризуется небольшой скоростью обработки, пересылки, анализа данных и не поддерживает множество современных драйверов баз данных, программ для работы с документами, а также не позволяет собственными программными средствами реализовать большинство современных систем анализа данных [4].

Для подобного рода систем важна скорость выполнения различных функций. Например, доставка данных с датчиков на компьютеры работников предприятия должна осуществляться в максимально короткие сроки, а значит, процесс выполнения функции доставки должен быть очень быстрым. Благодаря тому, что C# является компилируемым объектно-ориентированным языком, а также прямым наследником C++, скорость является его основным достоинством. Ко всему прочему, есть возможность увеличить скорость передачи и обработки данных с помощью мультипрограммирования – разделения процесса на потоки. C# обладает асинхронным механизмом, позволяющим указать компилятору, какую функцию можно выполнять асинхронно. В связи с вышеперечисленным, для создания программного обеспечения был выбран язык C#.

Первым этапом при работе с данными датчиков является мини-компьютер с модулем обработки полученных данных, который назовем устройство-клиент. Основной особенностью клиента является то, что он предоставляет интерфейсы IObserver и IReader. Например, если бы это была плата Arduino, то плата получила бы данные с датчиков, а потом передала бы их на интерфейс модуля. При получении данных модуль оповестит свой механизм записи и сразу же отправит данные на сервер посредством TCP-протокола.

При проектировании TCP-сервера был использован паттерн объектно-ориентированного программирования «Наблюдатель». Прослушивающий класс реализует интерфейс IObservable и содержит в себе коллекцию подписанных на него слушателей, реализующих интерфейс IObserver. На сервере реализовано три основных подписчика: DataBaseWriter, SocketWriter и EmailSender. При этом система позволяет дописать их необходимое количество.

Класс DataBaseWriter отвечает за запись новых данных в базу данных. На данный момент реализована работа с базой данных PostgreSQL. «Наблюдатель» асинхронно записывает данные в базу, что позволяет серверу, передавшему данные, перейти к следующему подписчику.

Следующим этапом происходит отправка данных с сервера на клиенты по TCP-протоколу. Логика SocketWriter реализована таким образом, что данные будут отправлены только в том случае, если есть хотя бы один присоединенный клиент. Если же клиент выключится при отправке данных, то пересылка будет отменена, а очередь очищена, что исключает возникновение ошибок. Это основной класс сервера, обеспечивающий мониторинг данных в реальном времени.

Последним подписчиком является EmailSender. Этот класс обращается к базе данных и сверяет данные с устройства с его предельными допустимыми данными по минимуму и максимуму. Если мощность будет выходить за один из этих пределов, с сервера на почту всем администраторам будет отправлено письмо с предупреждением того, на каком устройстве, в какое время произошел выход за пределы.

Для реализации серверного модуля – Rest API Server, была выбрана технология ASP.NET. Данная система предоставляет удобный и гибкий механизм авторизации пользователей, а также позволяет создавать быстрые веб-приложения. Для доступа к базе данных реализован специальный интерфейс управления (API), предоставляющий возможность разрабатывать клиентские приложения для различных программных платформ, которые могут быстро и легко присоединяться к серверу для обмена данными. На API-сервере реализованы различные способы получения данных. Например, rolls позволяет получить список всех отчётов посредством HTTP-запроса, что позволяет получать и использовать информацию из базы данных комплекса в любое удобное время вне зависимости от платформы или устройств.

Главным модулем является desktop-клиент. Для его разработки использовалась система построения клиентских приложений WPF, позволяющая создавать адаптивные desktop-приложения при помощи паттерна Model-View-ViewModel.

Выводы. Разработан программный комплекс мониторинга энергопотребления на предприятиях угольной промышленности. Данный комплекс успешно опробован на шахте им. Скочинского. Установлено, что введение в структуру шахты разработанного программного комплекса для мониторинга и учёта энергопотребления позволяет достичь уменьшения потребления электроэнергии на 2-5%. На основании отчета о потреблении электроэнергии шахтой за 2019 год получено, что затраты на электроэнергию можно уменьшить до 9 651 000 рублей в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский И. Г. Шахтные вентиляторы : учебное пособие / И. Г. Ивановский ; М-во образования Рос. Федерации ; Дальневосточный гос. техн. ун-т (ДВПИ им. В. В. Куйбышева). – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. – Глава 1 : Конструкции и параметры вентиляторов. – С. 6–22.
2. Грядущий Б. А. Повышение энергетической эффективности угольных шахт Украины / Б. А. Грядущий, Г. Н. Лисовой, В. А. Корсун // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 10. – С. 244-248.
3. Копылов К. Н. Повышение уровня учёта и контроля потребления электроэнергии подземными потребителями шахт и рудников / К. Н. Копылов, С. С. Кубрин, С. Н. Решетняк // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 97–105.
4. SCADA TRACE MODE. Российская SCADA система для АСУ ТП. : сайт. – Москва, 1998 – . – URL: <http://www.adastra.ru> (дата обращения: 13.02.2021). – Текст. Изображение : электронные.

Поступила в редакцию 07.03.2021 г.

SOFTWARE COMPLEX FOR MONITORING ENERGY CONSUMPTION AT THE ENTERPRISES OF THE COAL INDUSTRY

Vinnik A.O., Martynenko A-A.M., Bondarenko V.I.

This article provides a method for automating energy consumption monitoring at coal mining enterprises using the example of the mine named after A.A. Skochinsky. The developed software allows to reduce energy consumption by up to 5%.

Keywords: energy consumption, cost reduction, power, software, monitoring system, sensor, C #, ASP.NET, TCP, HTTP, Rest-API, Web-socket.

Винник Алексей Олегович

студент кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: vinnik_21@bk.ru

Vinnik Aleksei Olegovich

Student at Department of Computer Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Мартыненко Анастасия-Анна Михайловна

старший преподаватель кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: a.martinenko@donnu.ru

Martynenko Anastasiia-Anna Mikhailovna

Senior Lecturer at Department of Computer Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Бондаренко Виталий Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: bondarenko@donnu.ru

Bondarenko Vitalii Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Computer Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

ОПТИМИЗАЦИЯ SQL-ЗАПРОСОВ

© 2021 Третьяков И.А., Кожекина Е.Н., Журавлёв И.В.

В работе предложен и реализован оптимизатор, позволяющий существенно снизить время выполнения SQL-запросов. Проведен анализ эффективности работы предлагаемого оптимизатора. Реализована защита от SQL-инъекций.

Ключевые слова: оптимизатор, парсер, лексер, анализатор, SQL-запрос, SQL-инъекция.

Введение. Низкая производительность сервера обычно возникает, когда база данных не поддерживается должным образом. Один SQL-запрос, настроенный на сбор информации из базы данных, может тратить полезные ресурсы и ухудшать общую производительность сервера.

Очень важно найти эти плохо реализованные запросы и оптимизировать их. Усовершенствовать выполнение запросов можно по различным критериям - по скорости выполнения, по загрузке процессора, по объему используемой памяти и т.д. Обычно при оптимизации, главной целью является минимизация времени выполнения, но поскольку при выполнении конкретного запроса самой дорогостоящей операцией является обращение к диску, то и параметром оптимизации, как правило, является количество обращений к диску [1-4]. Другим важным критерием является требуемое для обработки процессорное время. Остальными составляющими, как правило, пренебрегают. В данной работе рассматриваются отдельные SQL-запросы и возможность их оптимизации.

Постановка задачи. Проведение анализа и преобразование связей между отношениями SQL-запросов. Выявление их недостатков и возможности модификации. Разработка оптимизатора, который будет автоматически производить изменения.

Модель оптимизатора. В работе предложена модель оптимизатора, которая, как и стандартная модель [1-4] использует парсер для разделения текста на элементы, с которыми будет работать анализатор. Из элементов строится дерево, которое будет реструктурировано, а некоторые его узлы будут изменены или удалены в соответствии с задачей. В отличие от модификации стандартной модели, предлагаемая программа не будет работать с планом запросов и источниками данных. Работу предложенного оптимизатора можно описать схемой, представленной на рисунке 1:



Рис. 1. Модель предлагаемого оптимизатора

Структура предлагаемого оптимизатора. На вход поступает SQL-запрос, который будет обрабатывать оптимизатор, состоящий из трех частей: лексер, парсер, анализатор. Сначала необходимо, чтобы отработал парсер, для построения дерева и разделил на элементы (теги) текст запроса, с помощью словаря, описанного в лексере. Это необходимо, чтобы оптимизатор обработал структуру, из которой составлен SQL-запрос. Структура понадобится анализатору для выявления мест, которые будут считаться доступными для оптимизации. Под оптимизацией, в данном случае, подразумевается реструктуризация дерева с помощью парсера и отображения подсказок. После того, как оптимизатор отработает, пользователь, который его использовал, получает улучшенный SQL-запрос.

Также пользователь может отобразить подсказки в соответствующих формах для дальнейшего их применения, если посчитает, что у него есть такая возможность. Под возможностью в данном случае подразумевается, что пользователь должен сам решить необходимо ли ему применять подсказку, так как после её применения результат будет ограничен, что не всегда приемлемо для пользователя [1-4].

Парсер. В качестве алгоритма для написания парсера был выбран алгоритм «Обратная польская запись». Данный алгоритм был изменен в соответствии с логикой работы парсера. Рассмотрим алгоритм «Обратная польская запись» и внесенные в него изменения.

В общем виде запись выглядит следующим образом:

- Запись набора операций состоит из последовательности операндов и знаков операций. Операнды в выражении при письменной записи разделяются пробелами.

- Выражение читается слева направо. Когда в выражении встречается знак операции, выполняется соответствующая операция над двумя последними встретившимися перед ним операндами в порядке их записи. Результат операции заменяет в выражении последовательность её операндов и её знак, после чего выражение вычисляется дальше по тому же правилу.

- Результатом вычисления выражения становится результат последней вычисленной операции.

Преобразованный алгоритм в соответствии с логикой парсера:

- В качестве знаков операций использовались токены, а вместо операндов элементы токена, которые разделяются запятой.

- SQL-запрос также читается слева направо. В качестве соответствующей операции, в данном случае, выполняется создание массива токена и добавление в этот массив элементов, которые находятся между «новым» (под новым подразумевается токен, который не проходил сравнение, то есть имеет признак «новый») найденным токеном и предыдущем «старым» (под старым подразумевается токен, который проходил сравнение и парсером и был определен, как токен). Так как в критерии определено, что SQL-запрос, поступающий на вход – это запрос выборки, то есть SELECT, воспользовавшись правилом написания запросов в диалекте MYSQL, который определен также в критерии, можно утверждать, что поступающие на вход SQL-запросы будут начинаться с токена SELECT, под который, в данном случае, изначально будет создан массив, а сам токен будет считаться изначально «старым».

- Результатом вычисления становится дерево.

Теперь, когда введены понятия, которые позволяют понять логику работы парсеров, рассмотрим дерево разбора, которое строит парсер.

Анализируемое представление, возвращаемое парсером, представляет собой ассоциативный массив важных разделов SQL (токенов) и информацию, которая

содержится в каждом из этих разделов. Под разделом будем понимать токены, фрагменты входного SQL-запроса, которые не подлежат дальнейшему разбиению на составные части. Все токены прописаны в лексере. Парсер удаляет лишние пробелы, то есть если встречается два и более пробела подряд – оставляет один, а также «;». Парсеру прописаны элементарные правила: токен не может быть заключен в кавычки, токenu не может предшествовать точка и т. д.

Рассмотрим пример. Запрос имеет три токена: SELECT, FROM, WHERE. Каждый из этих токенов будет сформирован на этапе обработки парсером. Каждый из этих токенов содержит элементы. Каждый элемент представляет ключевое слово, буквальное значение, подзапрос, выражение или ссылку на столбец.

В следующем примере раздел SELECT содержит один элемент, который является ссылкой на столбец (colref). Предложение FROM содержит только одну таблицу. Можно заметить, что парсер отобразит тип присоединения «Join». Это происходит за счет того, что по умолчанию каждый элемент таблицы является объединением, но он может не иметь критериев соединения и соответственно ничего не отобразит. Наконец, предложение WHERE состоит из трех элементов: ссылки на столбец, оператора и литерального значения (const).

Запрос на вход:

```
SELECT a FROM some_table an_alias WHERE d > 5
```

Дерево, построенное парсером:

```
Array
(
  [SELECT] => Array
  (
    [0] => Array
    (
      [expr_type] => colref
      [alias] =>
      [base_expr] => a
      [sub_tree] =>
      [position] => 8
    )
  )
  [FROM] => Array
  (
    [0] => Array
    (
      [expr_type] => table
      [table] => some_table
      [alias] => Array
      (
        [as] =>
        [name] => an_alias
        [base_expr] => an_alias
        [position] => 29
      )
      [join_type] => JOIN
      [ref_type] =>
      [ref_clause] =>
      [base_expr] => some_table an_alias
      [sub_tree] =>
      [position] => 18
    )
  )
)
```

```
[WHERE] => Array
(
  [0] => Array
  (
    [expr_type] => colref
    [base_expr] => d
    [sub_tree] =>
    [position] => 45
  )
  [1] => Array
  (
    [expr_type] => operator
    [base_expr] => >
    [sub_tree] =>
    [position] => 47
  )
  [2] => Array
  (
    [expr_type] => const
    [base_expr] => 5
    [sub_tree] =>
    [position] => 49
  )
)
)
```

Для наглядности, немного упростив, графически изобразим данное дерево (рис. 2) [1-4]:

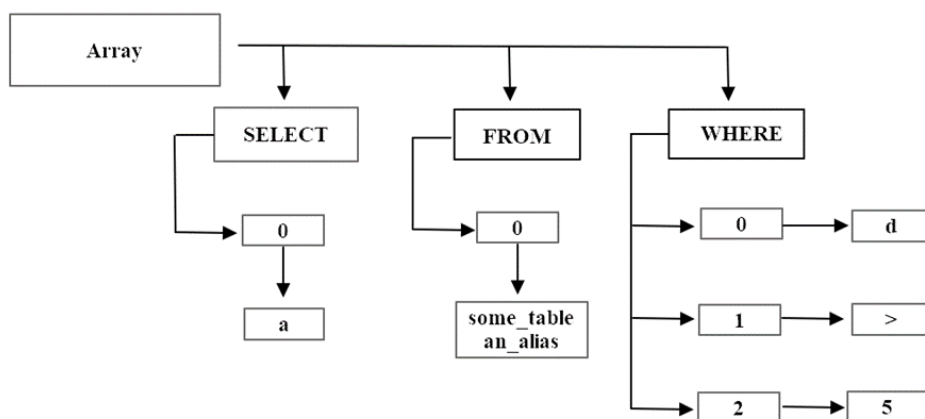


Рис. 2. Графическое изображение дерева, построенного парсером

Анализатор. На основе массива, построенного парсером происходит поиск на наличие «слабых» мест. Этот поиск и будем считать анализатором. Парсер строит дерево, исходя из словаря, описанного лексером и осуществляет поиск с помощью проверок на выполнение условия содержания тех или иных элементов в соответствующем массиве токена. В зависимости от выполнения условия происходит вывод соответствующей этому условию подсказки в предназначенной форме. После построения дерева, а также обработки условий для построения подсказок и изменения элементов в дереве, происходит формирование вывода SQL-запроса. Вывод строится

следующим образом: начиная со второго токена выполняется перенос строки с каждым последующим токеном. Сравнение происходит с помощью библиотеки diff2html [1-4].

Интерфейс оптимизатора. Добавление SQL-запроса происходит с помощью кнопки «Добавить SQL-запрос» (рис. 3).

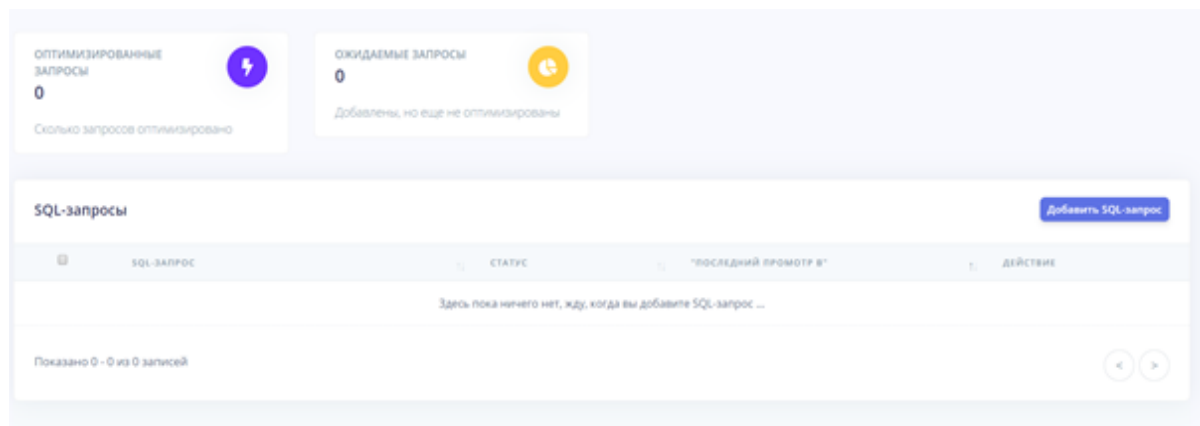


Рис. 3. Стартовая страница оптимизатора

На форме также присутствуют следующие столбцы:

- «SQL-запрос» (отображает введенные SQL-запросы)
- «Статус» (отображает статус оптимизации). На текущий момент доступны для отображения два статуса: «Оптимизирован» и «В ожидании».
- «Последний просмотр в» (отображает дату и время последнего просмотра оптимизированного SQL-запроса если статус «Оптимизирован», иначе отобразит «N/A»)
- «Действие» (отображает доступное действие для выбранного SQL-запроса). На текущий момент доступно для действия: «Оптимизировать», если SQL-запрос имеет статус «В ожидании», и «Просмотр», если имеет статус «Оптимизирован», то есть действие «Оптимизировать» было выполнено уже ранее.

Слева внизу формы отображается количество выведенных на странице SQL-запросов, а также общее количество добавленных SQL-запросов. Справа внизу расположены элементы управления страницы (доступны только в случае, если количество на странице меньше общего количества). Нажмем на кнопку «Добавить SQL-запрос» и перейдем просмотру следующих форм (рис. 4).

Рис. 4. Форма добавления SQL-запроса, подлежащего оптимизации

На данной форме автоматически выбрана база данных MySQL и версия 5.0. В дальнейшем при доработке оптимизатора предполагается добавление других диалектов и работа с ними. После ввода SQL-запроса в соответствующую форму и нажатия на кнопку «Добавить» произойдет добавление SQL-запроса на форму (рисунок 5).

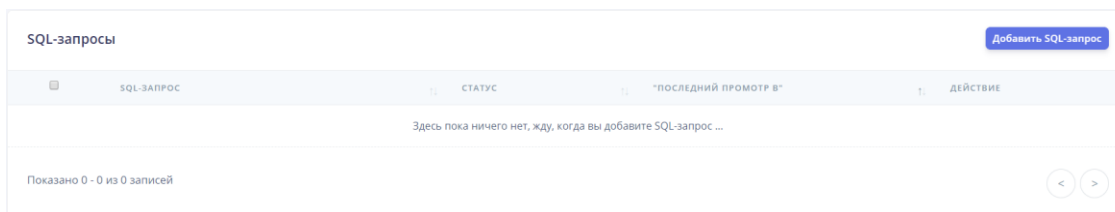


Рис. 5. Форма, отображающая список всех добавленных SQL-запросов

При нажатии кнопки «Заккрыть» форма добавления будет закрыта без каких-либо изменений предыдущих формах. Если не будет соблюден синтаксис или форма для ввода запроса будет не заполнено, то пользователь получит сообщение об ошибке.

В качестве примера введем следующий SQL-запрос:

```
select first_name,salary, count(*) from salaries, employees, dept_emp where salaries.emp_no = employees.emp_no and dept_emp.emp_no = employees.emp_no group by first_name having salary > 7000
```

В данном примере оптимизатор должен найти «слабое» место и изменить элементы дерева, а также выдать подсказки (рисунок 6).

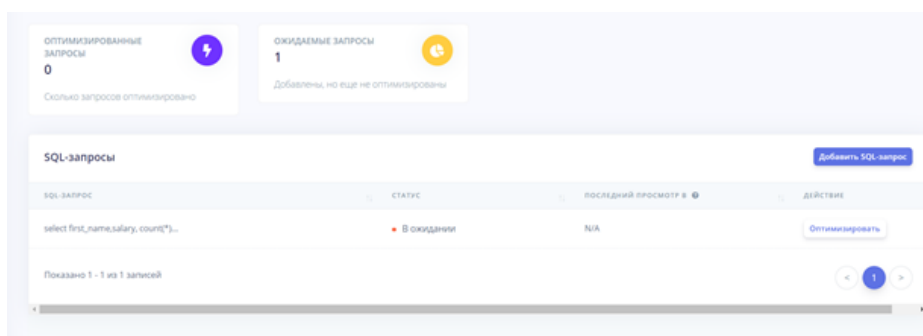


Рис. 6. Стартовая страница после добавления SQL-запроса

Результат работы оптимизатора мы можем увидеть, нажав на кнопку «Оптимизировать» (рисунок 7).



Рис. 7. Стартовая страница после оптимизации

Рассмотрим более детально формы, которые были добавлены. Левая форма содержит список всех подсказок, которые доступны для применения к рассматриваемому SQL-запросу. При нажатии кнопки «ещё» отобразится полный текст подсказки (рис. 8), а при нажатии «Показать пример» в отдельной форме отобразится пример применения подсказки (рис. 9).

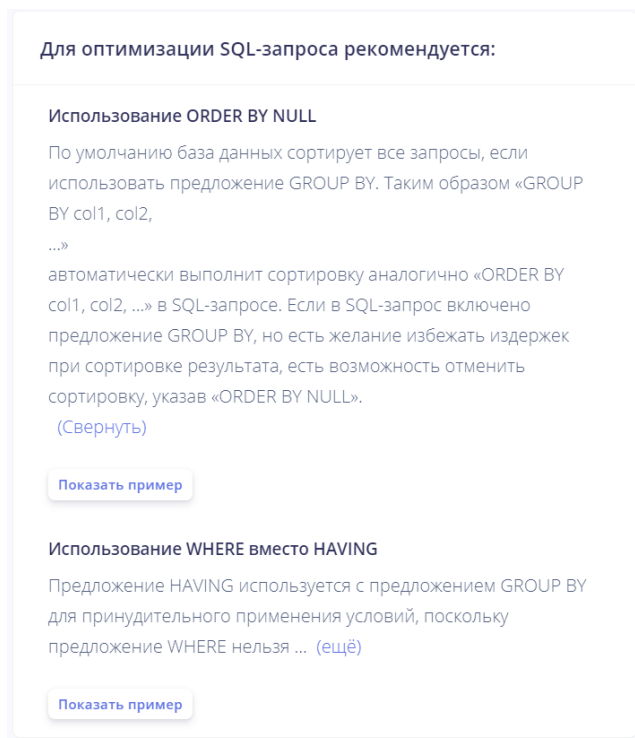


Рис. 8. Форма подсказок после нажатия кнопки «ещё» на одной из подсказок

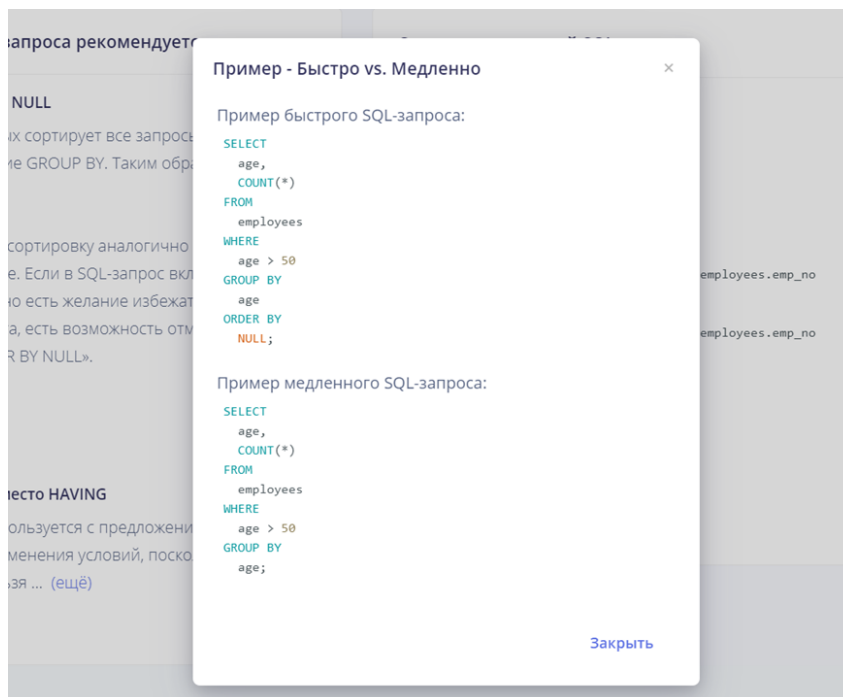


Рис. 9. Форма примера, который отображается после нажатия кнопки «Показать пример»

Рассмотрим форму, на который выводится оптимизированный SQL-запрос (рис. 10). Вверху справа присутствуют кнопки «Скопировать», которая позволяет скопировать оптимизированный SQL-запрос, и «Сравнить», которая позволяет сравнить оптимизированный SQL-запрос и тот, что подавался на вход для оптимизации.

```

Оптимизированный SQL-запрос
[Скопировать] [Сравнить]

1  SELECT
2      first_name,
3      salary,
4      count(*)
5  FROM
6      salaries
7  INNER JOIN
8      employees
9      ON salaries.emp_no = employees.emp_no
10 INNER JOIN
11 dept_emp
12     ON dept_emp.emp_no = employees.emp_no
13 WHERE
14     1 = 1
15     AND 1 = 1
16 GROUP BY
17     first_name
18 HAVING
19     salary > 7000
    
```

Рис. 10. Форма вывода оптимизированного SQL-запроса

Нажмем на кнопку «Сравнить», чтобы отобразить какие именно были выполнены изменения. В отдельной вкладке откроется страница с требуемой формой (рис. 11):

Оригинальный SQL-запрос → Оптимизированный SQL-запрос

1 SELECT	1 SELECT
2 first_name,	2 first_name,
3 salary,	3 salary,
4 count(*)	4 count(*)
5 FROM	5 FROM
6 salaries	6 salaries
7 employees	7 INNER JOIN employees ON salaries.emp_no = employees.emp_no
8 dept_emp	8 INNER JOIN dept_emp ON dept_emp.emp_no = employees.emp_no
9 WHERE	9 WHERE
10 salaries.emp_no = employees.emp_no	10 1 = 1
11 AND dept_emp.emp_no = employees.emp_no	11 AND 1 = 1
12 GROUP BY	12 GROUP BY
13 first_name	13 first_name
14 HAVING	14 HAVING
15 salary > 7000	15 salary > 7000

Рис. 11. Форма сравнения

Изменилась также область представленная на рисунке область, описанная на рисунке 6 (рис. 12).

ОПТИМИЗИРОВАННЫЕ ЗАПРОСЫ: 0
 ОЖИДАЕМЫЕ ЗАПРОСЫ: 1
 Сколько запросов оптимизировано: 0
 Добавлены, но еще не оптимизированы: 1

SQL-запросы

SQL-запрос	СТАТУС	последний просмотр в	ДЕЙСТВИЕ
select first_name,salary, count(*)...	В ожидании	N/A	Оптимизировать

Показано 1 - 1 из 1 записей

Рис. 12. Стартовая страница оптимизатора после оптимизации

Можно заметить, что к значению счетчика «Оптимизированные запросы» прибавилась единица, а в счетчике «Ожидаемые запросы» убавилась. «Статус» также изменился на «Оптимизирован», а значение кнопки в столбце «Действие» на «Просмотр». Значение в столбце «Последний просмотр в» не изменилось, потому что изменение происходит после нажатия кнопки «Просмотр», которая на текущий момент еще не была нажата. Нажав на кнопку убедимся в работоспособности требуемых изменений (рис. 13).

СТАТУС	ПОСЛЕДНИЙ ПРОСМОТР В ?	ДЕЙСТВИЕ
● Оптимизирован	20.11.2019 20:40:54	Просмотр

Рис. 13. Отображение последнего просмотра

Если ни один из способов оптимизации для введенного SQL-запроса не подходит, то пользователь увидит следующее уведомление (рис. 14.):

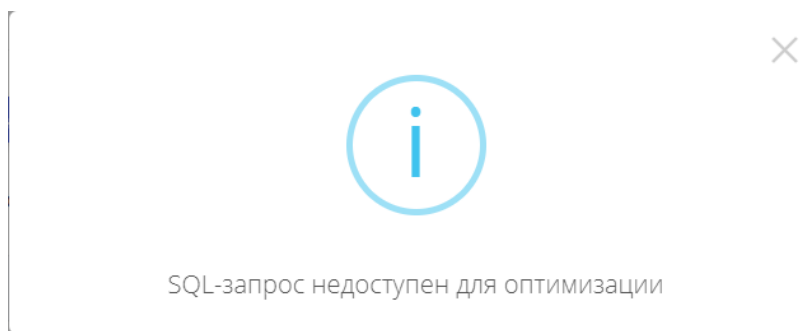


Рис. 14. Ни один из способов оптимизации для введенного SQL-запроса не подходит

Оценка времени выполнения SQL-запросов после использования оптимизатора. SQL-запросы, которые требуют оптимизации, выявлялись с помощью соответствующих программ мониторинга. Для анализа рассматривались 100 SQL-запросов, которые требовали оптимизации. Для определения времени выполнения SQL-запроса использовался MySQL Workbench.

Под оптимизацией подразумевается снижение времени, за которое был выполнен SQL-запрос, а под выигрышем разница между временем выполнения тестируемого SQL-запроса и оптимизированного SQL-запроса.

Минимальный выигрыш после оптимизации 100 SQL-запросов составил 96 секунд.

Защита от SQL-инъекций. Поскольку предложенный оптимизатор разработан в виде веб-приложения, которое использует базы данных для хранения и обмена информацией, была предусмотрена защита от SQL-инъекции.

Внедрение SQL обычно происходит, когда программа (под программой подразумевается сайт или приложение) запрашивает ввод данных у пользователя, например, его имя пользователя /ID пользователя, и вместо имени /идентификатора пользователь дает часть SQL-запроса, которая бессознательно будет выполняться в базе данных [5].

Рассмотрим пример, который создает SELECT путем добавления переменной (txtUserId) в строку выбора. Переменная извлекается из пользовательского ввода (getRequestString):

```
txtUserId = getRequestString("UserId");  
txtSQL = "SELECT * FROM Users WHERE UserId = " + txtUserId;
```

Первоначально целью кода было создание оператора SQL для выбора пользователя с заданным идентификатором пользователя. Если нет ничего, что могло бы помешать пользователю ввести «неправильный» ввод, пользователь может ввести некоторый «умный» ввод, например, так:

```
105 OR 1=1
```

Это SQL-инъекция, основанная на $1 = 1$. Данная конструкция всегда верна. Тогда оператор SQL будет выглядеть так:

```
SELECT * FROM Users WHERE UserId = 105 OR 1=1;
```

Вышеприведенный SQL верен и вернет ВСЕ строки из таблицы «Пользователи», так как «OR 1 = 1» всегда TRUE. Выглядит ли приведенный выше пример опасным? Что если таблица «Пользователи» содержит имена и пароли? Выражение SQL выше очень похоже на это:

```
SELECT UserId, Name, Password FROM Users WHERE UserId = 105 or 1=1;
```

Хакер может получить доступ ко всем именам пользователей и паролям в базе данных, просто вставив 105 ИЛИ $1 = 1$ в поле ввода. Такой же смысл имеет комбинация «="» с внедрением «" or ""="». Большинство баз данных поддерживают пакетные SQL-запросы. Пакет SQL-запросов — это группа из двух или более SQL-запросов, разделенных точками с запятой.

Приведенный ниже SQL-запрос вернет все строки из таблицы «Users», а затем удалит таблицу «Suppliers».

```
SELECT * FROM Users; DROP TABLE Suppliers
```

Рассмотрим следующий пример:

```
txtUserId = getRequestString("UserId");  
txtSQL = "SELECT * FROM Users WHERE UserId = " + txtUserId;
```

И следующий на вход идентификатор пользователя

```
105; DROP TABLE Suppliers
```

Тогда SQL-запрос будет выглядеть следующим образом:

```
SELECT * FROM Users WHERE UserId = 105; DROP TABLE Suppliers;
```

Теперь, когда перечислены способы атак, можно перейти к рассмотрению способов защиты от них.

Чтобы защитить веб-сайт от внедрения SQL, можно использовать подготовленные выражения (prepared statement). Тогда параметры внешнего происхождения отправляются на сервер отдельно от самого запроса либо автоматически экранируются клиентской библиотекой. Пример использования:

```
$txtUserId = getRequestString("UserId");  
$txtSQL = "SELECT * FROM Users WHERE UserId =?";  
$statement = $db->prepare($txtSQL);  
$statement->execute([$txtUserId]);
```

Таким образом, используя данный способ защиты, пользователь обезопасит себя от SQL-инъекции.

Выводы. Реализован оптимизатор, позволяющий существенно снизить время выполнения SQL-запроса. Предусмотрена защита от SQL-инъекции. Рассмотрена эффективность работы предлагаемого оптимизатора. Результаты тестирования показали, что оптимизатор работает от 2 до 154 секунд. Время варьируется в зависимости от длины SQL-запроса и сложности преобразования для оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С. Д. Методы оптимизации выполнения запросов в реляционных СУБД / С. Д. Кузнецов. – Текст : электронный // CITForum.ru : IT-портал. – URL: http://citforum.ru/database/articles/art_26.shtml (дата обращения: 08.03.2021).
2. Трунин В. Путь программиста T-SQL : Самоучитель по языку Transact-SQL. Основы программирования для начинающих разработчиков. – [Б. м.] – Info-Comp, [2020]. – 204 с
3. Грубер М. Понимание SQL / Мартин Грубер ; перевод Лебедева В. Н ; под редакцией Булычева В. Н. – Москва, 1993. – URL: http://specfx.narod.ru/books/SQL_M_Gruber.pdf (дата обращения: 08.03.2021). – Текст : электронный.
4. Фаро С. Рефакторинг SQL-приложений / Стефан Фаро и Паскаль Лерми ; перевод Ф. Гороховского. – Санкт-Петербург–Москва : Символ-Плюс, 2017 – 329 с.
5. SQL Injection // W3Schools [сайт]. – URL: https://www.w3schools.com/sql/sql_injection.asp (дата обращения: 08.03.2021). – Текст : электронный.

Поступила в редакцию 09.03.2021 г.

OPTIMIZING SQL-QUERIES

Tretiakov I.A., Kozhekina E.N., ZHuravlev I.V.

In this paper, a SQL query optimizer is proposed and implemented, which allows to significantly reduce the execution time of an SQL query. The analysis of the efficiency of the proposed optimizer is carried out. Implemented protection against SQL injection.

Keywords: optimizer, parser, lexer, analyzer, SQL query, SQL injection.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, заведующий учебной лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Deputy Dean for Research, Head of laboratory at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Кожекина Елена Николаевна

старший преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: e.kozhekina@donnu.ru

Kozhekina Elena Nikolaevna

Senior Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Журавлёв Иван Викторович

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: zhuravivanvictorovich25@gmail.com

ZHuravlev Ivan Viktorovich

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 65.011.56

ОБРАБОТКА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ТЕРМОАНЕМОМЕТРА ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

© 2021 *Пометун Е.Д., Третьяков И.А.*

Выполнены исследования динамических характеристик термистора в режиме работы термоанемометра постоянной температуры. Полученные данные свидетельствуют об асимметрии реакции термоанемометра на изменение скорости потока, что приводит к возникновению погрешностей и неадекватной работе автоматизированной системы. Для исключения данной погрешности разработан алгоритм, основанный на коррекции частотной характеристики измерительного канала, таким образом, что, длительность фронта нарастания импульса, соответствующая увеличению скорости потока, согласовывается с длительностью заднего фронта, соответствующего охлаждению датчика.

Ключевые слова: термистор, неизотермический газовый поток, термоанемометр, погрешность, алгоритм обработки.

Введение. Широко распространенным методом исследования состояния атмосферы, измерения параметров газовых потоков является термоанемометрический метод. Термоанемометр постоянной температуры является одним из наиболее широко используемых средств измерения параметров газовых потоков (температуры, скорости), обладающим малой тепловой и динамической инерцией. Однако, в нормативно – технической документации динамические характеристики измерительных термопреобразователей представлены недостаточно полно, как в части методологии, так и в области технического описания. Игнорирование зависимости динамических характеристик от изменения внешних условий может вызвать неадекватную реакцию АСНИ и требует углубленного исследования для эффективного согласования работы элементов всей системы.

Основная часть. Исследования динамических характеристик термисторов, в режиме работы термоанемометра постоянной температуры прямым и косвенным методами показывают, что быстродействие датчика зависит от внешних условий. Игнорирование этого явления значительно ухудшает динамические свойства автоматизированных систем. Полученные зависимости между скоростью потока и постоянной времени термоанемометра (ТА) имеют явную асимметрию реакции на передний и задний фронт модели ступенчатого испытательного сигнала. Данный эффект приводит к возникновению погрешности измерения мгновенной и средней скорости потока.

На основании полученных экспериментальных данных, а именно: вычисленных значений скорости и температуры, аналитической зависимости между скоростью и постоянной времени термистора, появляется возможность компенсации погрешности ТА, вызванной нелинейностью градуировочной характеристики и асимметрией процессов нагрева и охлаждения чувствительного элемента ЧЭ [1-2]. Механизм определения и алгоритм минимизации погрешности измерения средней скорости потока, возникающей вследствие нелинейности градуировочной характеристики, приведен в работах [1].

Для оценки величины погрешности, возникающей вследствие асимметричной реакции датчика термоанемометра постоянной температуры (далее – динамической погрешности) были выполнены измерения постоянной времени термистора от

изменения скорости потока прямым способом. Прямой способ реализовывался на аэродинамическом стенде, создающий воздушный стратифицированный поток [3]. В основу работы стенда положен способ создания стратифицированного воздушного потока, со скачкообразным изменением профиля скорости и температуры между стратами и быстрым перемещением датчика между слоями [4].

Полученные динамические характеристики термистора, в режиме работы термоанемометра постоянной температуры приведены на рис.1.

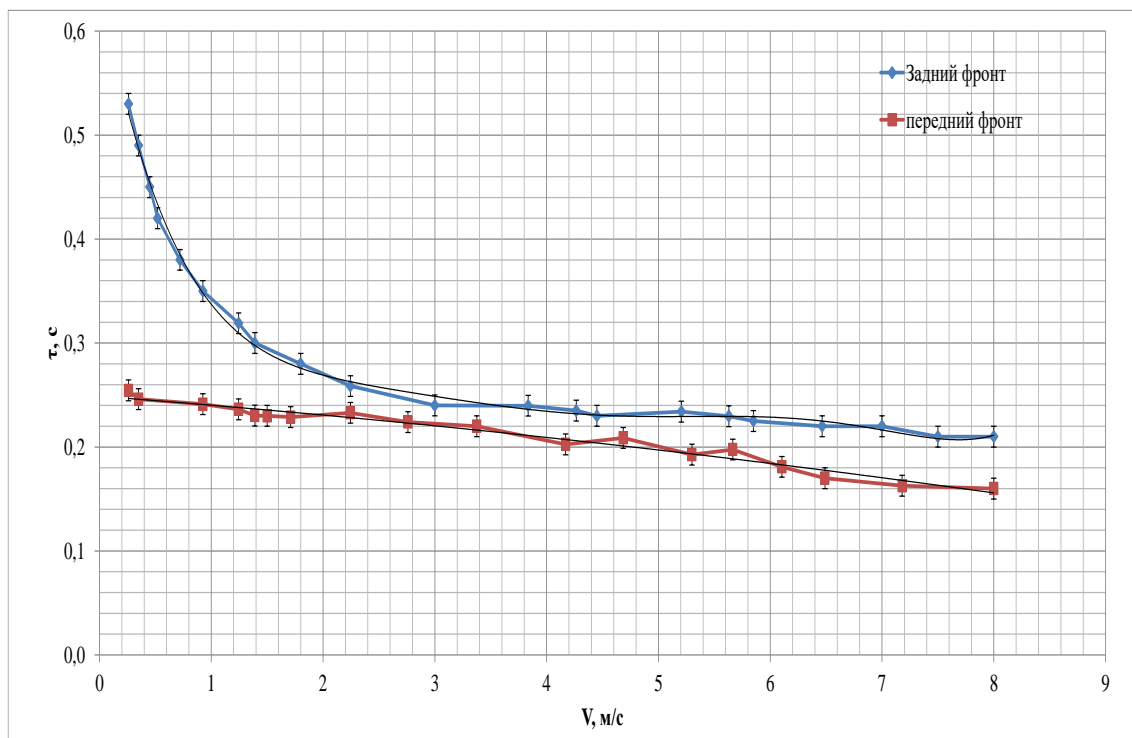


Рис. 1. Зависимость $\tau = f(V)$ для ТА ПТ, полученная при прямом способе воздействия

Из рисунка 1 видно, что постоянная времени реакции датчика на передний фронт импульса, с увеличением скорости от 0,13 м/с до 6,5 м/с, изменяется значительно меньше, чем постоянная времени реакции на задний фронт. Это объясняется тем, что при перемещении датчика из страты с меньшей скорости в страту с большей скоростью, инерционность термистора в значительной степени определяется параметрами электронной схемы и слабо зависит от скорости потока. При обратном перемещении датчика (из большей скорости в страту с меньшей скоростью), постоянная времени термистора определяется, в основном, теплообменом термистора с окружающей средой, сильно зависящем от скорости потока, обтекающего датчик. Полученные результаты свидетельствуют о том, что реакция ТА имеет явную асимметрию между процессами «нагрев» и «охлаждение» (реакция на передний и задний фронт испытательного сигнала прямоугольной формы). Данная асимметрия процессов приводит к появлению погрешностей (динамических погрешностей). Величина динамической погрешности зависит от частоты и амплитуды пульсаций скорости и от индивидуальных (оптимальных для данной модели) настроек обратной связи термоанемометра постоянной температуры.

Оценка погрешности измерения средней скорости выполнялась следующим образом: вначале вычислялось мгновенное значение скорости, затем его среднее

смещенное значение, которое сравнивалось с известным средним значением скорости, заданным в аэродинамической трубе [5].

Погрешность, обусловленная смещением среднего, определялась по соотношению:

$$\delta = \frac{V_{см}(\gamma) - \bar{V}}{\bar{V}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где \bar{V} – среднее значение скорости по аэродинамической трубе, $V_{см}$ – смещенное значение скорости при различных коэффициентах γ .

Результаты расчета погрешности по соотношению (1) представлены на рисунке 2.

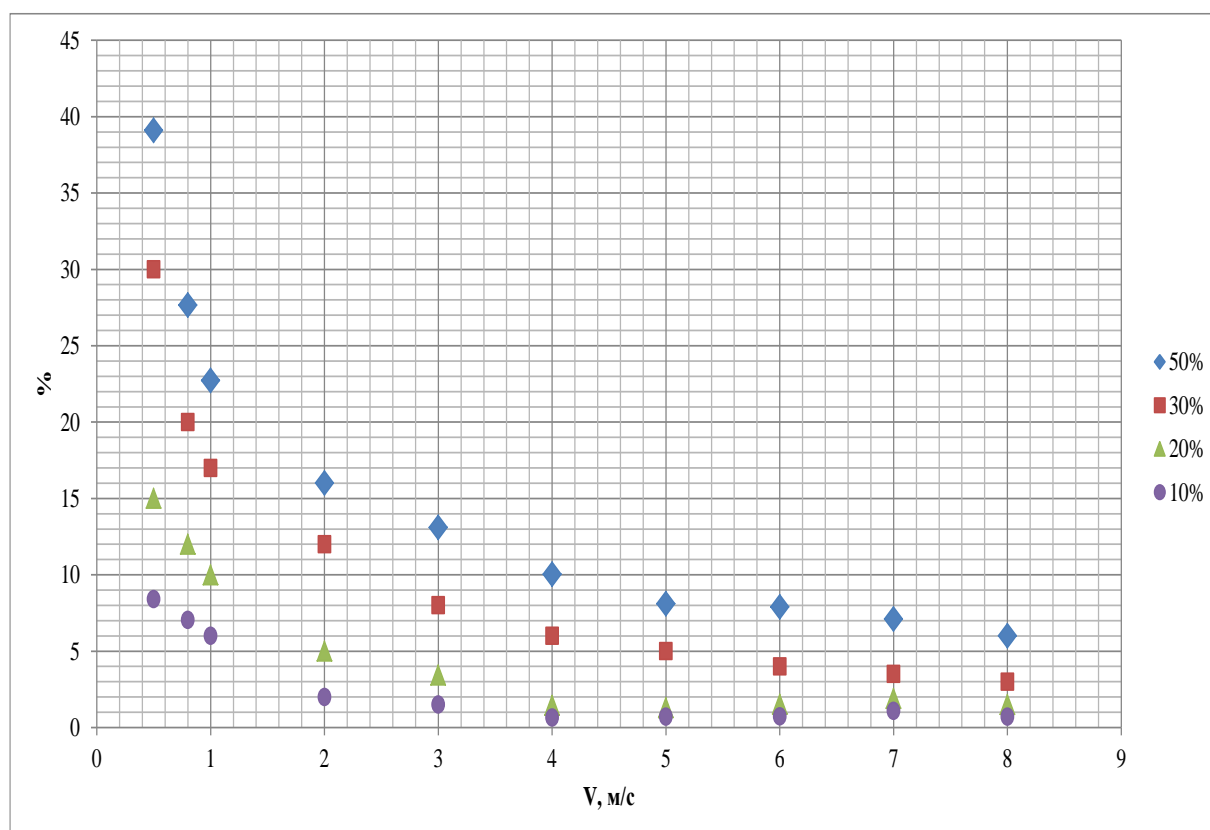


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения средней скорости от величины γ и скорости потока

Полученные результаты показывают, что при γ меньше 10% и скорости больше 3 м/с погрешность измерения средней скорости становится меньше 2%, с увеличением пульсаций погрешность возрастает и при 50% пульсаций составляет около 10%. При скорости ниже 3 м/с погрешность резко возрастает.

Т.о., без учета явления изменения среднего, измерения скорости имеют большую величину погрешности: при 50% пульсациях погрешность превышает 35% [6]. Данный феномен объясняется различием в значениях постоянной времени и соответствует результатам, приведенным на рисунке 1.

Был разработан алгоритм обработки выходного сигнала ТА ПТ, минимизирующий динамическую погрешность. Данный алгоритм представлен на рисунке 3.

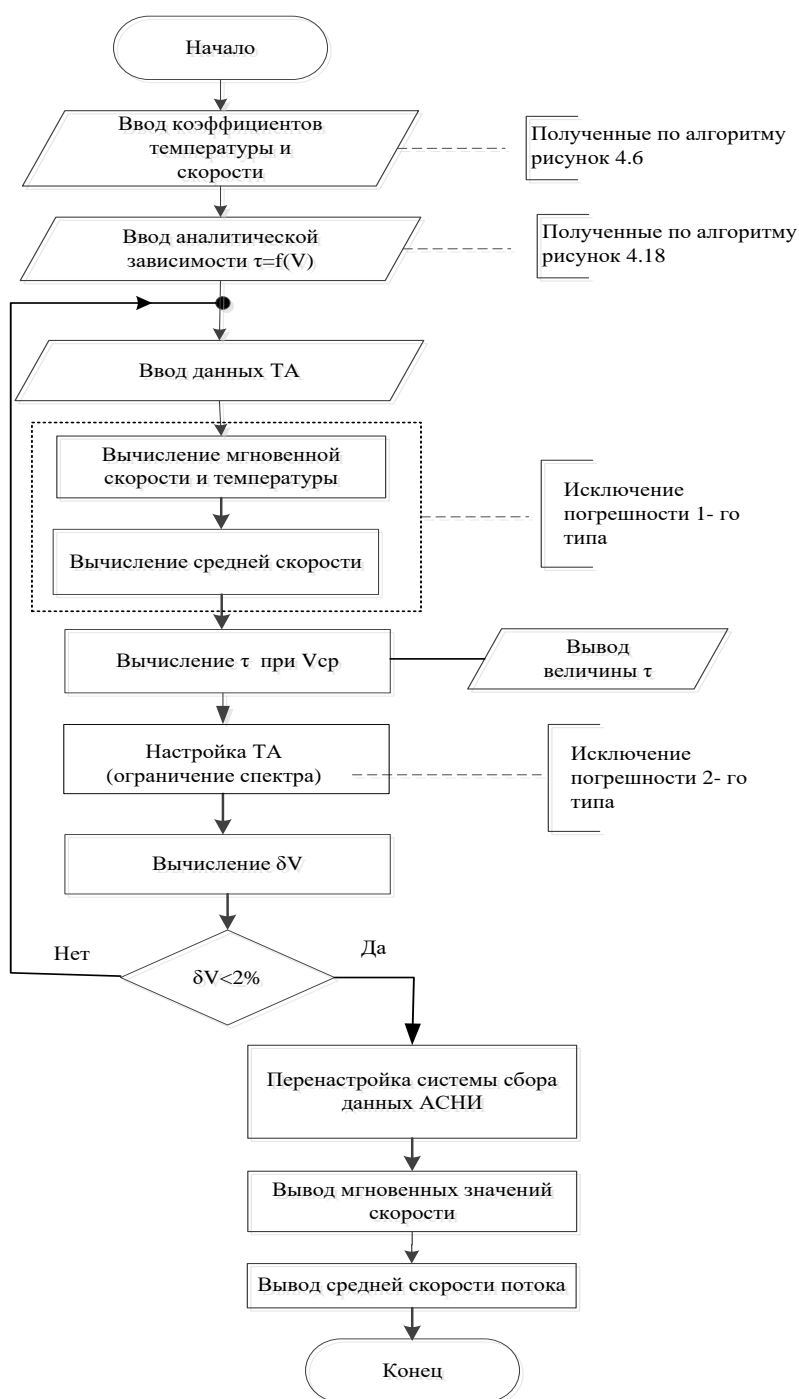


Рис. 3. Алгоритм обработки выходного сигнала термоанемометра постоянной температуры в динамическом режиме работы

Обработка выходных сигналов ТА в соответствии с алгоритмом (рис. 3), выполняется в следующей последовательности:

1. Ввод градуировочных коэффициентов для термоанемометра.
2. Ввод аналитической зависимости постоянной времени чувствительного элемента (термистора) от скорости потока.

3. Ввод цифровых сигналов термоанемометра и термометра.
4. Вычисление исходных мгновенных и средних значений скорости и температуры.
5. Вычисление постоянной времени, соответствующей средней скорости в потоке и ее вывод на экран.
6. Настройка частотной характеристики измерительной системы.
7. Повторное измерение откорректированной скорости.
8. Сравнение скорректированной и исходной средних скоростей (расчет относительной погрешности скорости δV). Если, $\delta V < 2\%$, тогда дальнейшая коррекция не требуется и осуществляется переход по заданному условию. Если, $\delta V > 2\%$, то цикл повторяется и устанавливается увеличенное значение постоянной времени, т.е. частотная характеристика измерительного канала ограничивается областью более низких частот.
9. Перенастройка системы сбора данных АСНИ
10. Вывод скорректированных мгновенных и средних скоростей.

Структура алгоритма (рис. 3) построена таким образом, что выполняется исключение погрешности вследствие нелинейности градуировочной характеристики, т.е. среднее значение скорости вычисляется после определения мгновенной скорости.

Значения средней скорости, так же, как и мгновенные, проходят через канал с измененной частотной характеристикой, т.о., что динамическая погрешность минимизируются.

Необходимо отметить, что такая коррекция осуществима с использованием программных и технических средств, позволяющих выполнять вычисления физических величин в реальном масштабе времени.

Заключение. Выполнены исследования динамических характеристик термистора в режиме работы термоанемометра постоянной температуры. Получены зависимости постоянной времени от изменения скорости потока. Данные зависимости свидетельствуют о явной асимметрии процессов «нагрев» и «охлаждение» датчика. Разработан алгоритм, компенсирующий погрешность, возникающую вследствие асимметрии реакции ТА на изменение скорости. Данный алгоритм, основан на адаптивной коррекции частотной характеристики измерительного канала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пометун Е. Д. Алгоритм обработки выходного сигнала термоанемометров постоянного тока и постоянной температуры / Е. Д. Пометун // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 4. – С. 3–10.
2. Обработка выходного сигнала термоанемометра постоянной температуры в реальном масштабе времени с использованием программного обеспечения NI LabView / А. В. Васильева, Н. И. Болонов, В. Н. Лебедев, Е. Д. Пометун // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IV Международной научной конференции, г. Донецк, 31 октября 2019 г. / под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. – Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019. – Т. 1 : Физико–математические и технические науки. Часть 2. – С. 43–45.
3. Пометун Е. Д. Экспериментальные стенды для исследования динамических характеристик измерительных преобразователей температуры / Е. Д. Пометун, Н. И. Болонов, В. Н. Лебедев // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 1. – С. 4–12.
4. Патент № 95326 У. Украина, МПК G01P 21/00, G01K 15/00. Способ прямого определения динамических характеристик термопреобразователей : № u201405589 : заявл. 26.05.2014 : опубл. 25.12.2014/ Болонов Н. И., Чупис Д. А., Кузнецов Д. М. ; заявитель патентообладатель Донецкий национальный университет. – Бюл. № 24.

5. Пометун Е. Д. Исследование функций аппроксимации градуировочной характеристики термоанемометра в неизотермическом газовом потоке / Е. Д. Пометун, В. Н. Лебедев // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2015. – № 1 (8) – 2 (9). – С. 89–93.
6. Оценка погрешности измерения средней скорости с помощью термоанемометра в высокотурбулентных газовых потоках / Е. Д. Пометун, Н. И. Болонов, В. В. Белоусов [и др.] // Системы обеспечения техносферной безопасности : материалы VI Всероссийской научной конференции и школы для молодых ученых (с международным участием), Таганрог, Россия 4 – 5 октября 2019 г. : Научное электронное издание. – Ростов-на-Дону – Таганрог : Изд-во Южного федер. ун-та, 2019. – С. 155–158.

Поступила в редакцию 05.04.2021 г.

ALGORITHM FOR PROCESSING THE SIGNAL OF THE CONSTANT TEMPERATURE ANEMOMETER IN THE DYNAMIC OPERATION MODE

Pometun E.D., Tretiakov I.A.

Investigations of the dynamic characteristics of the thermistor in the mode of operation of the hot-wire anemometer of constant temperature have been carried out. The data obtained indicate the asymmetry of the thermistor's response to a change in the flow rate, which leads to errors and inadequate operation of the automated system. To eliminate this error, an algorithm has been developed based on correcting the frequency response of the measuring channel, so that the duration of the rise time of the pulse corresponding to the increase in the flow rate is consistent with the duration of the trailing edge corresponding to the cooling of the sensor.

Keywords: thermistor, non-isothermal gas flow, hot-wire anemometer, error, processing algorithm.

Пометун Екатерина Дмитриевна

старший преподаватель кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: alternativa19031992@rambler.ru

Pometun Ekaterina Dmitrievna

Senior Lecturer at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, заведующий учебной лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Deputy Dean for Research, Head of laboratory at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

УДК 303.732.4

КЛАССИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ОЦЕНОК МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА СЕТИ ОПЕРАТОРА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

© 2021 *Чепцов М.Н., Климов В.В.*

В связи с лавинообразным увеличением объема и качества трафика, передаваемого по сетям мобильной связи, уже с 4-го поколения становится очевидным, что транспортная сеть является узким местом. Для того, чтобы работа сети была эффективной, необходимо как можно точнее и раньше получить оценки ее работы. В статье предложен классический подход к такому прогнозированию. Получены основные соотношения для величины пропускной способности и объема буфера на основе аналитического описания работы одноканальной системы обслуживания с поступающим на ее вход фрактальным трафиком. Полученные зависимости показали, что модель необходимо усовершенствовать для отображения динамических характеристик поступающего трафика.

Ключевые слова: транспортная сеть мобильной связи 4-го поколения, прогнозирование, пропускная способность, объем буфера, одноканальная система обслуживания, фрактальный трафик.

Введение. В современном мире создаются новые услуги, возможности и технологии, соответствующие высоким требованиям, установленным спросом потребителей. Одним из наиболее востребованных технологий мобильной связи становятся стандарты 3-го и 4-го поколений, позволяющие использовать трафик передачи данных где угодно и когда угодно [1]. С точки зрения пользователя, наличие такого широкого спектра возможностей очень привлекательно, но обязательно приводит к существенному увеличению трафика мобильного оператора. Последнее обстоятельство значительно влияет на расходы мобильного оператора, а значит и на стоимость предоставляемых им услуг. Кроме того, к факторам, непосредственно влияющим на стоимостные характеристики услуг связи, относится демографическая ситуация в исследуемом регионе. Зная тенденции изменения демографической ситуации, а значит потребительского роста, можно спрогнозировать необходимую пропускную способность сети в целом и магистральных каналов в частности, в ближайшем будущем. Суммируя вышесказанное, цель статьи состоит в анализе возможности использования классического подхода при прогнозировании оценок характеристик магистрального канала.

Постановка задачи. Процесс обслуживания поступающей нагрузки в транспортную сеть можно описать моделью СМО с входящим самоподобным потоком и детерминированным временем обслуживания $f_{BM} / D / 1$. Определение характеристик, согласно данной системы, рассматривалось в [2], где основные расчеты проводились по формуле Норрса. С помощью методик [3, 4], получена следующая формула для нахождения задержек пакета:

$$D = \frac{1}{\lambda} \left[y - \left(\frac{1}{b} + \frac{y}{b} \cdot \frac{(y+b)^{\frac{2H-1}{2(1-H)}}}{(b-y)^{\frac{H}{1-H}}} \right) \right], \quad (1)$$

где D – оценка времени задержки пакета, складывающаяся из времени нахождения пакета в очереди и времени передачи пакета по каналу связи; λ – параметр

поступающего потока в пак/с; y – поступающая нагрузка в бит/с; b – пропускная способность канала бит/с; H – параметр Херста, характеризующий степень самоподобия.

Вероятность потерь пакетов можно оценить по следующей формуле:

$$P = \frac{(1-\rho)}{1-\rho^{(x+1)^{2(1-H)}}} \cdot \rho^x, \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (3)$$

где P – вероятность потерь пакетов; μ – интенсивность обслуживания канала передачи в пак/с; H – параметр Херста, характеризующий степень самоподобия; x – необходимый объем выходного буфера, требуемый для обслуживания поступающей нагрузки; α – коэффициент разногласий в канале связи; ρ – отношение интенсивности нагрузки к пропускной способности канала.

Таким образом, исходя из параметра входящего информационного потока, мы можем выбрать такую пропускную способность канала, при которой рассчитанный размер буфера будет обеспечивать требуемые задержки и величину потерь пакетов в канале связи (1–3). Причем величина потерь пакетов при заданном размере буфера будет стремиться к нулю, для обеспечения лучшего качества обслуживания. Для определенности будем считать, что значение вероятности пакетов будет минимальной, т.е. равна нулю. Суммарная требуемая пропускная способность и размер буфера определяются соответственно:

$$B = \sum_{i=1}^N b_i,$$

$$X = \sum_{i=1}^N x_i,$$

где B – искомая пропускная способность канала транспортной сети; b_i – необходимая пропускная способность для обслуживания i -го потока; X – искомый размер выходного буфера магистрального канала; x_i – необходимый размер буфера для обслуживания i -го потока.

Некоторые технологии, например, MPLS-TP, а также применяемые методы QoS, позволяют каждому типу трафика выделять требуемую, из общего объема, пропускную способность магистрали и требуемый размер буфера для гарантированного качества обслуживания, т.е. гарантированной задержки в моменты перегрузок на сети, которые могут случаться в короткие промежутки времени в период ЧНН.

Необходимо учитывать тот факт, что реальный параметр информационных потоков, будет отличаться, так как передача пакетов ведется с помощью нескольких протоколов, каждый из которых вносит добавочную служебную информацию (заголовок) к пользовательским данным, что увеличивает объем передаваемой информации и соответственно интенсивность нагрузки потока данных.

Параметр информационного потока услуги Интернет можно оценить, исходя из (4):

$$\lambda_{DATA} = \frac{Y_{DATA}}{n}, \quad (4)$$

где Y_{DATA} – интенсивность нагрузки; n – длина пакета.

Для оценки показателей параметров качества обслуживания примем следующие допущения. Длину пакета примем максимально возможную для технологии Gigabit Ethernet – 1500 байт, так как такие пакеты имеют наибольшие задержки при передаче. Учитывая, что поступающий поток – самоподобный, то уже при $\rho = 0,6$, происходит резкое возрастание величин задержек пакетов.

Так как расчет пропускной способности производился для пакетов без учета заголовков Ethernet и MPLS-TP, необходимо включить служебные данные в расчет.

$$b_1 = b_{расч} + (\mu_{расч} \cdot (preamble + fr_del + ETH_{hdr} + IFG + MPLS_TP_{hdr})) \cdot 10^{-6},$$

где $b_{расч}$ – рассчитанная пропускная способность Мбит/с; $\mu_{расч}$ – рассчитанная интенсивность обслуживания пак/с; $preamble$ – преамбула кадра Ethernet, 7 байт; fr_del – разделитель кадров, 1 байт; ETH_{hdr} – заголовок кадра Ethernet, 18 байт; IFG – межкадровый интервал, 12 байт; $MPLS_TP_{hdr}$ – две метки MPLS-TP по 4 байта.

Исходя из вышеперечисленного, минимально необходимая пропускная способность составляет 117298 Мбит/с, с долей служебных данных 2,98%. Минимальный объем буфера составляет 405 пакетов.

Параметры интенсивности VoIP и H.248 потока, исходя из интенсивностей речевого и сигнального трафиков, определяются как:

$$\lambda_{VoIP} = Y_{VoIP} \cdot \frac{10^3}{N_{VoIP} \cdot 8},$$

$$\lambda_{H.248} = Y_{H.248} \cdot \frac{10^3}{N_{H.248} \cdot 8},$$

$$\lambda = \lambda_{VoIP} + \lambda_{H.248},$$

где Y_{VoIP} , $Y_{H.248}$ – интенсивности нагрузок речевого и сигнального трафиков соответственно; N_{VoIP} – средняя длина речевого пакета, 160 байт; $N_{H.248}$ – средняя длина сообщения H.248, 200 байт.

Кодек G.711 со средней длительностью пакета 20 мс и размером пакета 160 байт допускает задержку пакета до 150 мс. Согласно анализу, необходимое значение пропускной способности – 47724 Кбит/с, а требуемая пропускная способность с учетом транспортных и канальных заголовков составляет 47725,46 Кб/с, причем необходимо использовать буфер размером не менее 555 пакетов.

Определим параметр IPTV потока по формуле:

$$\lambda_{IPTV} = Y_{IPTV} \cdot \frac{10^6}{n},$$

где Y_{IPTV} – интенсивность нагрузки потока IPTV; n – длина пакета.

Формат видеовещания MPEG2 и MPEG4 предполагает размещение видеокадров в канальных кадрах максимального размера, что для технологии GE составляет 1500 байт и 12000 бит соответственно. Для обеспечения требуемых параметров QoS, нужно сформировать канал с пропускной способностью не менее 204,924 Мбит/с. С учетом транспортных и канальных заголовков, требуемая пропускная способность составит 211,2083 Мбит/с, а минимальный объем буфера при этом составит 405 пакетов.

На основе полученных данных для трех услуг определим требуемую пропускную способность канала связи транспортной сети мобильного оператора связи и минимальный объем буфера для создаваемого потока:

$$B = 1172,98 + 47,72 + 211,21 = 1431,954 \text{ Мбит/с};$$

$$X = 405 + 555 + 405 = 1365 \text{ пакетов.}$$

Один из существующих методов оценки пропускной способности транспортной сети учитывает ее технологию и услуги, получаемые конечными пользователями. Исходя из того, что наибольшей популярностью среди абонентов пользуется услуга доступа в Интернет, определим среднюю скорость подключения абонента для текущей емкости абонентской базы, с учетом того, что нагрузка VoIP и число каналов IPTV, при одинаковых исходных условиях. С учетом того, что входными данными будет являться имеющаяся пропускная способность магистрального канала 10 Гбит/с, а неизвестным – максимальная нагрузка по услуге подключения к сети Интернет.

Пропускная способность канала с учетом требуемых пропускных способностей для VoIP и IPTV составит:

$$C = 10000 - (C_{VoIP} + C_{IPTV}).$$

Искомое значение составит 9741,07 Мбит/с.

По формулам (1) и (2) определим максимальное значение нагрузки на канал передачи, при котором уровень задержки не превысит 30 мс. С помощью итерационных расчетов, определено, что разрешенное значение нагрузки лежит в пределах от 6818,74 Мбит/с до 7792,85 Мбит/с, со значением $\rho = 0,7 \div 0,8$. Результаты расчета представлены в виде зависимости на рисунке 1.

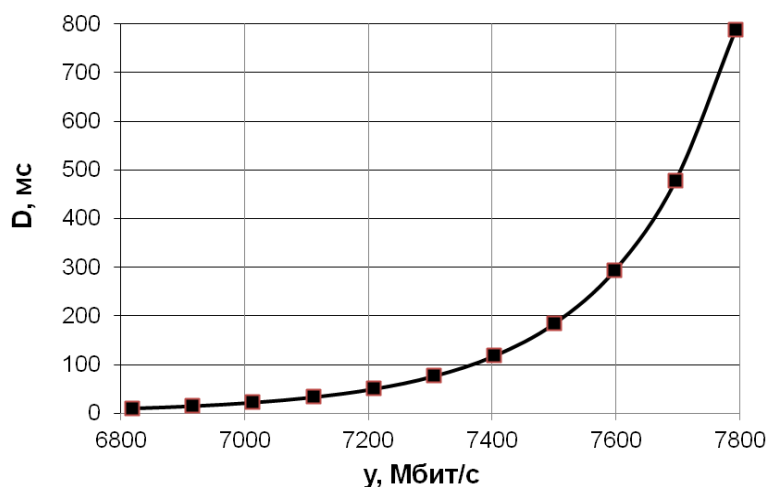


Рис. 1. График зависимости величины задержки от нагрузки на канал передачи

Из полученных результатов видно, что для обеспечения требуемых параметров QoS, которым должны отвечать сети I класса, максимальная нагрузка услуги подключения Интернет и передачи данных должна составить не более 7110,98 Мбит/с.

При исключении служебных данных, максимально возможная нагрузка составляет 6892,91 Мбит/с, при этом необходимо использовать буфер размером не менее 27186 пакетов.

Средняя скорость подключения абонента определяется по (5):

$$y = N \cdot d_s \cdot \frac{d_{RX}}{30} \quad (5)$$

где N – количество абонентов, подключенных к услуге передачи данных и доступа в сеть Интернет; d_s – средняя скорость подключения абонента, МБ/с; d_{RX} – время, необходимое для приема среднемесячного объема данных на максимальной скорости доступа, сутки.

Объем потребляемого трафика 2800 абонентами составляет 167009 Гбит при средней скорости подключения одного абонента составляет в 1 Мбит/с.

Интенсивность нагрузки потребляемого трафика абонентами, подключенными к услуге передачи данных и Интернет:

$$d_{RX} = \frac{V}{N_{подкл}} \cdot 8 \cdot t_{сутки} \cdot d_s \quad (6)$$

где V – объем трафика, потребляемого абонентами; $N_{подкл}$ – число подключенных абонентов к услуге передача данных и Интернет.

Тогда, исходя из входных данных оператора и выражения (6) сделаем прогноз необходимой пропускной способности транспортного канала связи:

$$V_{RX} = \frac{V}{N_{подкл}} \cdot$$

Таким образом, при количестве подключаемых пользователей $N = 2800$, полученная зависимость оценки пропускной способности транспортного канала связи прямопропорциональна средней скорости подключения (рис. 2).



Рис. 2. Зависимость оценки пропускной способности транспортного канала связи от средней скорости подключения

Величина коэффициента утилизации канала, также будет зависеть от технологии организуемого транспортного канала. Так, для скоростей передачи в 1 Гбит/с значение составит от 0,84 до 0,994.

Выводы. Классический подход к прогнозированию приводит к получению достаточно грубых и усредненных оценок магистрального канала сети оператора мобильной связи. Это связано методом сбора и обработки исходных данных для прогнозирования: трафика, генерируемого пользователями, подключающимися к мобильной сети. Очевидно, что для динамически изменяющегося трафика, такой подход не является эффективным, поэтому дальнейшие исследования направлены на разработку метода прогнозирования, который ослаблял бы вышеперечисленные недостатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радке Х.-Д. Все о беспроводных сетях / Хорст-Дитер Радке, Йеремиас Радке. – Москва : НТ Пресс, 2011. – 320 с.
2. Агеев Д. В. Расчет параметров самоподобных информационных потоков, передающихся по каналам связи мультисервисной сети, при предоставлении услуг «Triple Play» / Д. В. Агеев, Д. В. Евлаш // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – № 645 : Радіоелектроніка та телекомунікації. – С. 131–141.
3. Research of the quality characteristics of self-similar traffic of a mobile communication network on the basis of software release / I. V. Strelkovskaya, I. N. Solovskaya, A. O. Makoganiuk, A. D. Balyk // Information and Telecommunication Sciences. – 2020. – Vol. 11, N. 2. – 51–57.
4. Стрелковская И. В. Нахождение характеристик самоподобного трафика сети LTE с помощью программных продуктов / И. В. Стрелковская, А. Д., Балык // Інфокомунікації – сучасність та майбутнє : матеріали десятої міжнародної науково-практичної конференції – Одеса : ОНАС, 2020. – С. 364–369.

Поступила в редакцию 09.04.2021 г.

CLASSIC APPROACH TO PREDICTING ESTIMATES OF THE BACKBONE CHANNEL OF MOBILE OPERATOR'S NETWORK

Sheptsov M.N., Klimov V.V.

Due to the avalanche-like increasing of the traffic volume and quality over mobile networks, already since the 4th generation it becomes backhaul's bottleneck. In order for the network to work effectively, it is necessary to obtain estimates of its work as accurately and early as possible. The article proposes a classic approach to such forecasting. The basic relationships for the throughput and buffer volume are obtained on the basis of an analytical description of the operation of a single-channel service system with fractal traffic arriving at its input. The obtained dependencies showed that the model needs to be improved to display the dynamic characteristics of the incoming traffic.

Keywords: backhaul of the 4-th generation mobile network, prediction, bandwidth, buffer volume, single-channel service system, fractal traffic.

Чепцов Михаил Николаевич

доктор технических наук, профессор, ректор
ГОО ВПО «Донецкий институт железнодорожного
транспорта»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: institut-transporta@mail.ru

Sheptsov Mikhail Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Rector
of Donetsk Institute of Railway Transport,
DPR, Donetsk.

Климов Владимир Владимирович

аспирант ГОО ВПО «Донецкий институт
железнодорожного транспорта»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: boban_cc@mail.ru

Klimov Vladimir Vladimirovich

Postgraduate student at Donetsk Institute of Railway
Transport,
DPR, Donetsk.

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ В СИСТЕМАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ И ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

© 2021 Ключниченко А.Д., Лобко А.Я., Кожекина Е.Н., Тимченко В.И.

В данной работе разработан программный комплекс на языке Python3, включающий в себя реализацию алгоритма распознавания лиц с использованием сверточной нейронной сети и библиотек Dlib, face-recognition, а также проведение исследований влияния разных факторов.

Ключевые слова: метод обнаружения лиц, алгоритм распознавания лиц, python, гистограмма направленных градиентов, евклидово расстояние, сверточная нейронная сеть.

Введение. Технологии распознавания лиц в том или ином виде развиваются уже достаточно давно. Задача распознавания человека актуальна как в области интеллектуальных сред, так и в системах безопасности. Однако в последнее время произошел существенный скачок в области разработки и обучения нейронных сетей. Сейчас идет бурное развитие нейронных алгоритмов распознавания лиц, которые используются в системах биометрической аутентификации, видеонаблюдении и на разнообразных мобильных платформах. Но не стоит забывать, что пока еще не существует идеальной нейросетевой системы, которая бы не ошибалась. Соответственно новые исследования и разработки в этой сфере имеют большую практическую значимость.

Постановка задачи. Проведение исследований влияния расстояния, освещенности, угла поворота головы, закрытых частей лица и разных национальных признаков внешности на распознавание лица с помощью разработанного программного комплекса.

Нейронная сеть ResNet. В качестве предварительно обученной нейронной сети использовалась нейросеть ResNet. Ключевая идея этой сети – это введение остаточных блоков (residual blocks), которые содержат "обходную связь идентичности" (identity shortcut connection), обходящую один или большее количество слоев. Структура остаточного блока показана на рисунке 1.

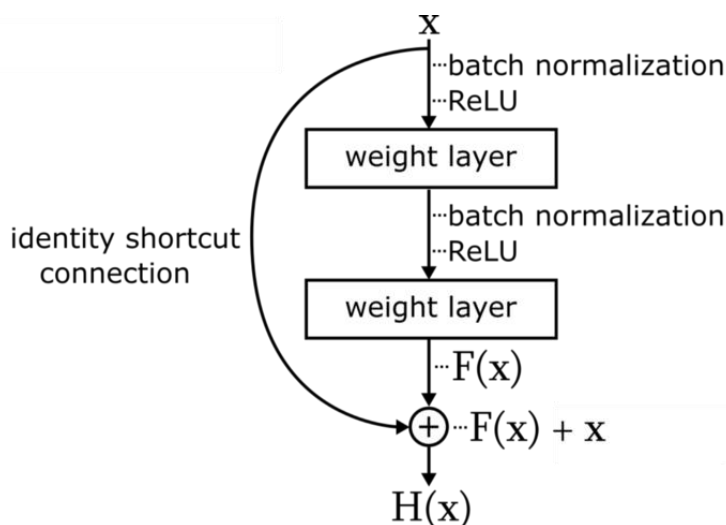


Рис. 1. Структура остаточного блока

Этот остаточный блок изменяет цель набора слоев с обучения идеальных весов и порогов $F(x)$ на обучение выхода остаточного блока $H(x) = F(x) + x$. Переставив члены этого уравнения, получим $F(x) = H(x) - x$, а это значит, что остаточный блок пытается обучать вход минус выход, иными словами остаточную функцию $F(x)$ – отсюда и название "остаточный блок". Теперь можно считать, что каждый блок настраивает вывод предыдущего блока, и ему не приходится генерировать желаемый вывод с нуля. В качестве метода обнаружения лиц нейросеть ResNet использует гистограмму направленных градиентов.

Гистограмма направленных градиентов. Данный подход основан на подсчете направлений градиента яркости (интенсивности) в локальных областях изображения и базируется на том факте, что распределение градиентов яркости на каком-либо участке изображения дает представление о внешнем виде и форме объекта, расположенного на этом участке (даже без учета точного расположения этих направлений). Суть метода состоит в том, что изображение плотной равномерной сеткой разбивается на области, для каждой из которых строится локальная гистограмма направлений градиентов яркости.

Совокупность построенных нормализованных гистограмм будет являться дескриптором объекта. Такие дескрипторы неизменны к освещению, геометрическим и фотометрическим преобразованиям (за исключением ориентации самого объекта). Пример результата показан на рисунке 2.

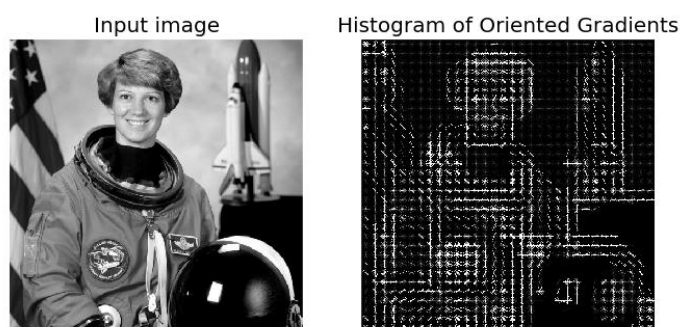


Рис. 2. Гистограмма направленных градиентов

Анализ результатов программного комплекса. С использованием созданного программного комплекса были проведены исследования влияния расстояния, освещенности, угла поворота головы, закрытых частей лица и разных национальных признаков внешности на распознавание лица.

Для подключения обученных нейронных моделей, обработки изображения и видео используются библиотеки Dlib, OpenCV и face_recognition. Подключение обученных нейронных моделей показано на рисунке 3.

```
sp = dlib.shape_predictor('shape_predictor_68_face_landmarks.dat')
facerec = dlib.face_recognition_model_v1('dlib_face_recognition_resnet_model_v1.dat')
```

Рис. 3. Подключение нейронных моделей

Задача первой части программного комплекса заключается в том, что сравнить две фотографии и выяснить находятся ли на них один и тот же человек или разные люди. На вход программы подаются две исследуемые фотографии, на которых с помощью детектора сверточной сети находятся лица и выделяются 68 точек (рис. 4). Выделение 68 точек показано на рисунке 5.



Рис. 4. Нахождение лица и выделение 68 точек

```
for n in range(0, 68):
    x = shape.part(n).x
    y = shape.part(n).y
    cv2.circle(img=img1, center=(x, y),
               radius=3, color=(0, 255, 0), thickness=-2)
```

Рис. 5. Выделение 68 точек

Затем для каждой фотографии вычисляется дескриптор лица (рис. 6).

Detection 0: Left: 194 Top: 136 Right: 452 Bottom: 394	Detection 0: Left: 164 Top: 198 Right: 474 Bottom: 508
-0.0649237	-0.0750115
0.0693464	0.0914306
0.118648	0.145333
-0.017376	-0.00517211
-0.076074	-0.0845187
-0.0547482	-0.0228877
-0.0995496	-0.0774392
-0.131932	-0.115513
0.115059	0.204595
-0.145197	-0.176819
0.279547	0.286307
0.0634512	0.116011
-0.180629	-0.221506
-0.0166956	0.00945814
-0.0493562	-0.00223491
0.169721	0.155363
-0.160964	-0.120663
-0.0513413	-0.0678414
-0.122236	-0.122524
-0.0828111	-0.098101
-0.0400247	-0.0151369
0.0587076	0.0646882
0.0604392	0.0660676
-0.00856656	-0.00957565
-0.0850174	-0.0907899
-0.377376	-0.324777
-0.131393	-0.0992428
-0.0949158	-0.0475171
0.0824341	0.0594534

Рис. 6. Дескрипторы двух фотографий

Найденные дескрипторы двух фотографий сравниваются между собой с помощью Евклидова расстояния:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^m (D_i^1 - D_i^2)^2} .$$

Путем проведения исследований было выявлено самое оптимальное значение для Евклидова расстояния, которое составляет 0,42. Так как рекомендуемое разработчиками значение Dlib 0,6 выдавало неверный результат для азиатской внешности (рис. 7).



Рис. 7. Азиатская внешность

На рисунке 8 представлены расчеты дескрипторов для фотографий с азиатской внешностью. Также дополнительно на рисунке 9 и рисунке 10 представлены графики вычисленных дескрипторов в качестве доказательств несхожести двух лиц, представленных на исследуемых фотографиях.

```

Detection 0: Left: 362 Top: 280 Right: 734 Bottom: 651
-0.0965908
0.140657
0.0446374
-0.0779561
-0.107807
-0.00317742
-0.0627921
-0.0806101
0.167275
-0.100136
0.220434
-0.059717
-0.242054
-0.0757327
-0.0638332
0.221418
-0.171679
-0.146101
-0.0149667
0.0152026
0.129358
0.0512745
-0.00181042
0.0266031
-0.129811
Detection 0: Left: 336 Top: 336 Right: 782 Bottom: 782
-0.159147
0.0995774
0.0570862
-0.0386983
-0.104039
-0.0503529
-0.0785971
-0.137696
0.0914773
-0.0676848
0.272323
-0.1417
-0.220412
-0.0705314
-0.0307325
0.201512
-0.127254
-0.135287
-0.0268468
0.0590081
0.0670863
-0.00278762
-0.03703
0.0897573
-0.123751

```

Рис. 8. Дескрипторы для азиатской внешности

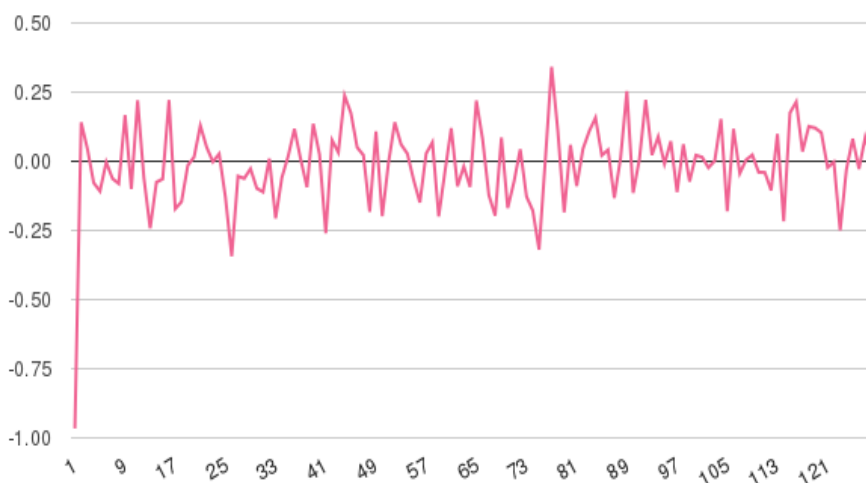


Рис. 9. График значений дескриптора для первой фотографии

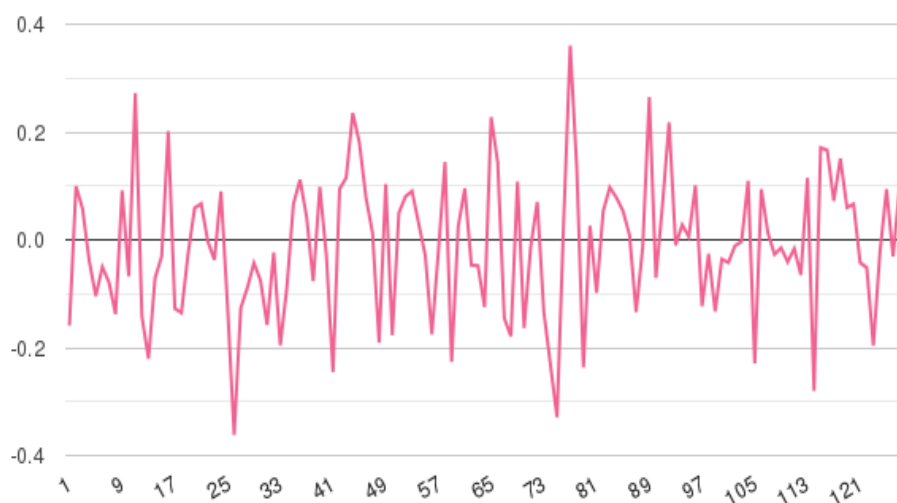


Рис. 10. График значений дескриптора для второй фотографии

Задача второй части программного комплекса заключается в том, чтобы аутентифицировать человека на видео и в режиме реального времени. Для этого используется библиотека `face_recognition`, которая создана на основе библиотеки `Dlib`. Эта библиотека считается одной из самых простых и бесплатных библиотек для распознавания лиц.

На вход программы подается видео, в котором необходимо распознать и аутентифицировать лица и сами образцы лиц в виде фото, и рассчитанных дескрипторов. В каждом кадре видео находятся все лица и их дескрипторы. Далее найденные дескрипторы сравниваются с уже существующими в программе, вычисляется Евклидова расстояние, выбирается минимальное значение и в пустой список заносится подходящее имя, которое после будет написано в рамке под найденным лицом.

Для проведения исследования использовались два видео с европейской и азиатской внешностью. Примеры нахождения и идентификации лиц представлены на рисунках 11 и 12.

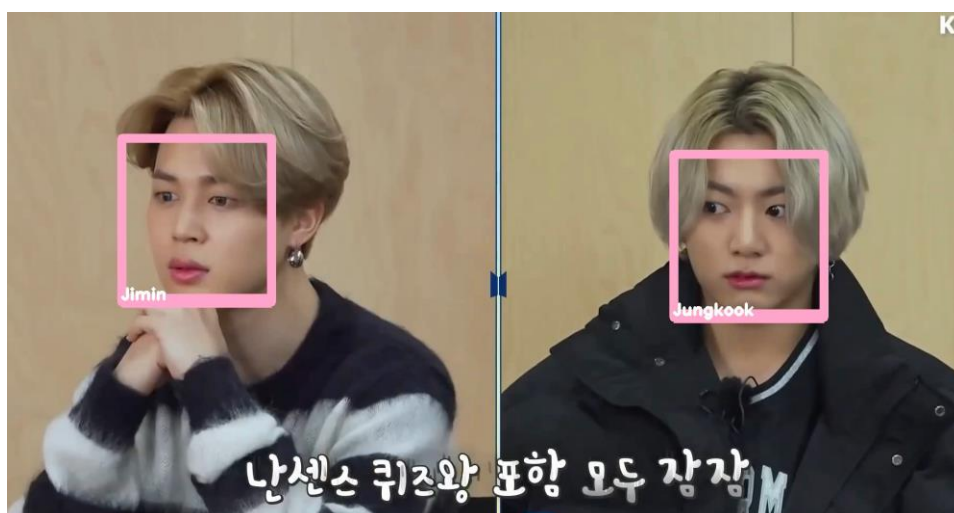


Рис. 11. Азиатская внешность

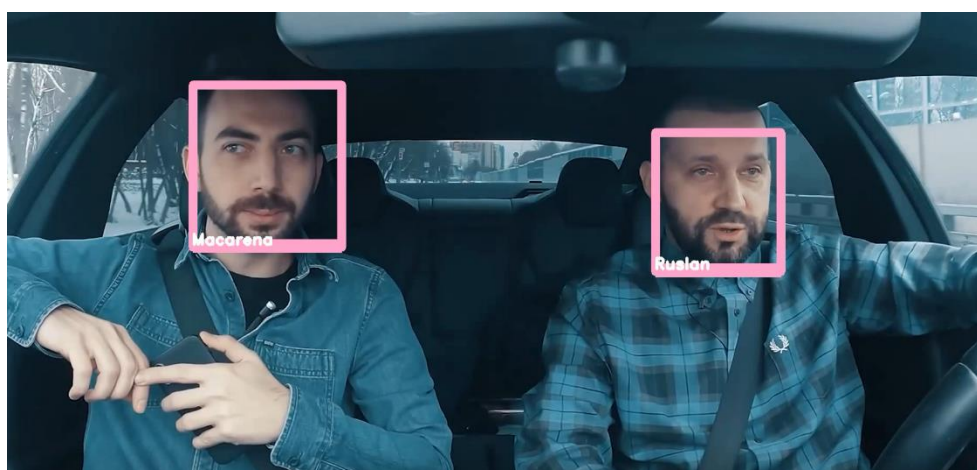


Рис. 12. Европейская внешность

И в том, и в том случае результаты верны. Дополнительно проведены исследования с работой программы в режиме реального времени.

Исследование влияния расстояния проводилось путем увеличения расстояния до камеры. Тем самым получив максимальное расстояние, на котором происходит верная идентификация личности. Промежуточные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Промежуточные результаты оценки влияния расстояния

№	Расстояние	Верная идентификация
1	30 см	100%
2	52 см	100%
3	80 см	85%
4	90 см	60-65%
5	105 см	15-20%

Исходя из результатов можно сделать вывод, что максимальное расстояние, на котором будет происходить верная идентификация – 80-85 см.

Исследование влияния освещенности происходила при низкой освещенности (рис. 13) и неравномерной освещенности (рис. 14) показаны далее.

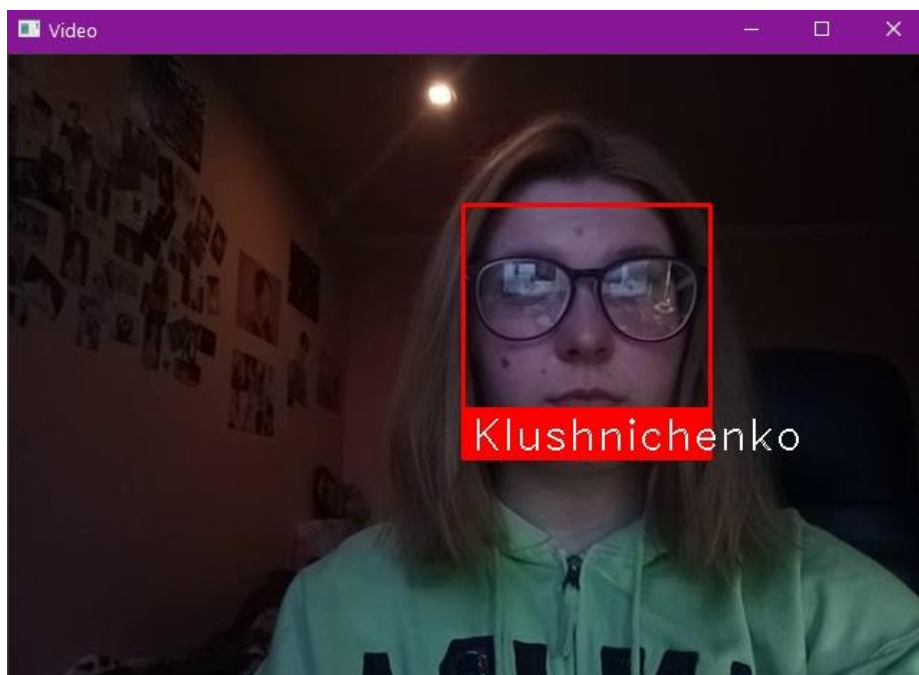


Рис. 13. Низкая освещенность

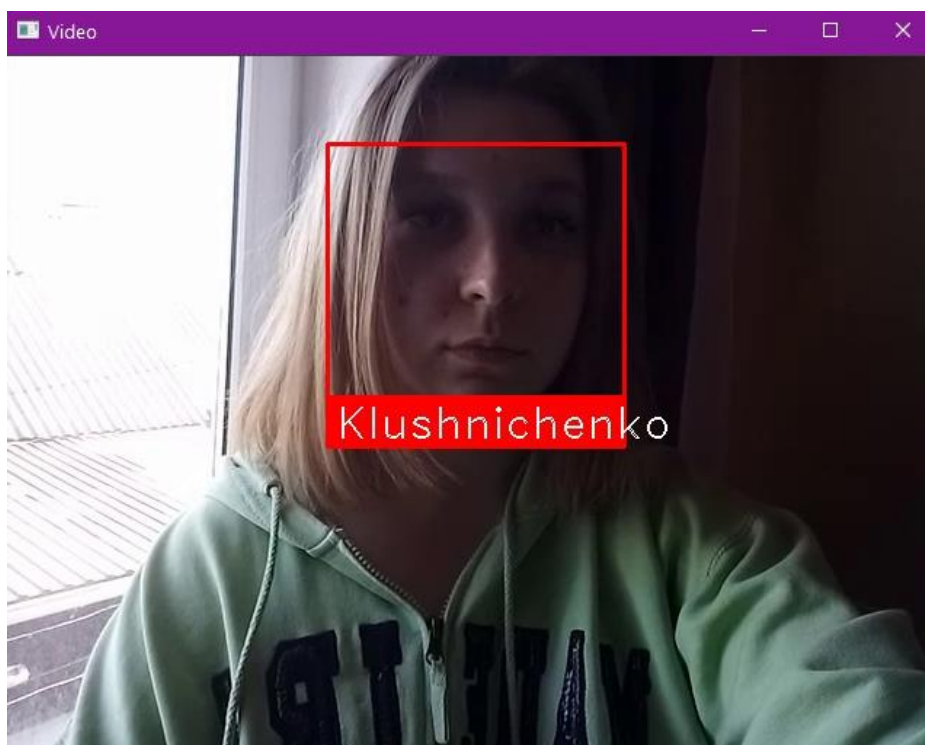


Рис. 14. Неравномерная освещенность

Исследование влияния угла поворота показало, что программа устойчива к повороту головы практически в 90 градусов. Пример максимального поворота головы показан на рисунке 15.

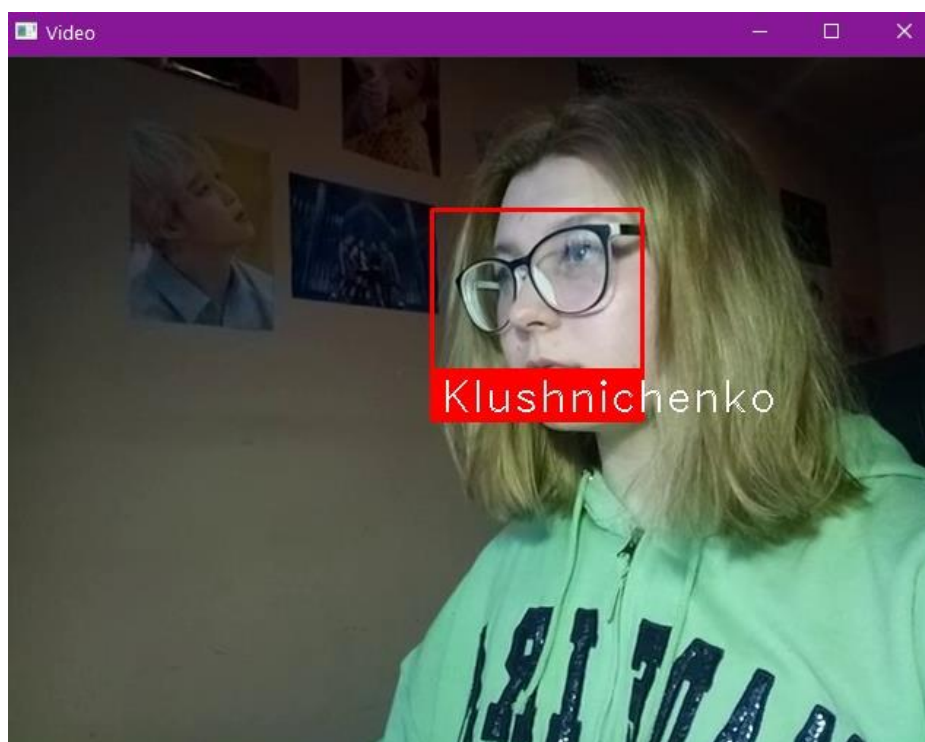


Рис. 15. Поворот головы

Для проведения исследования влияния закрытых частей лица на верную идентификацию использовались дополнительные средства такие как медицинская маска (рис. 16) и белый лист бумаги (рис. 17).

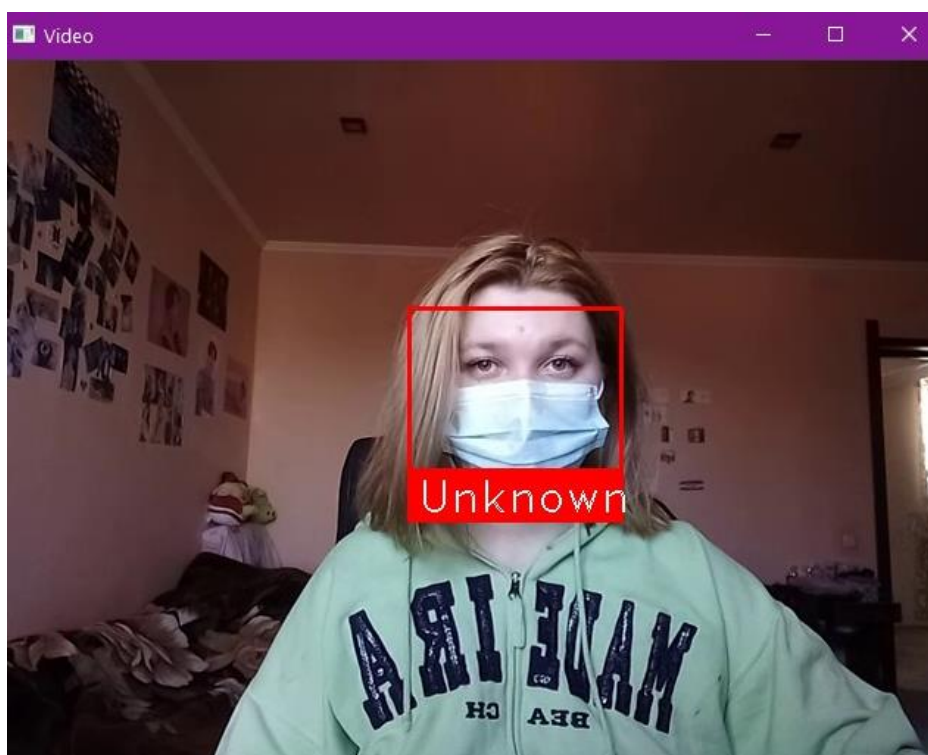


Рис. 16. Медицинская маска

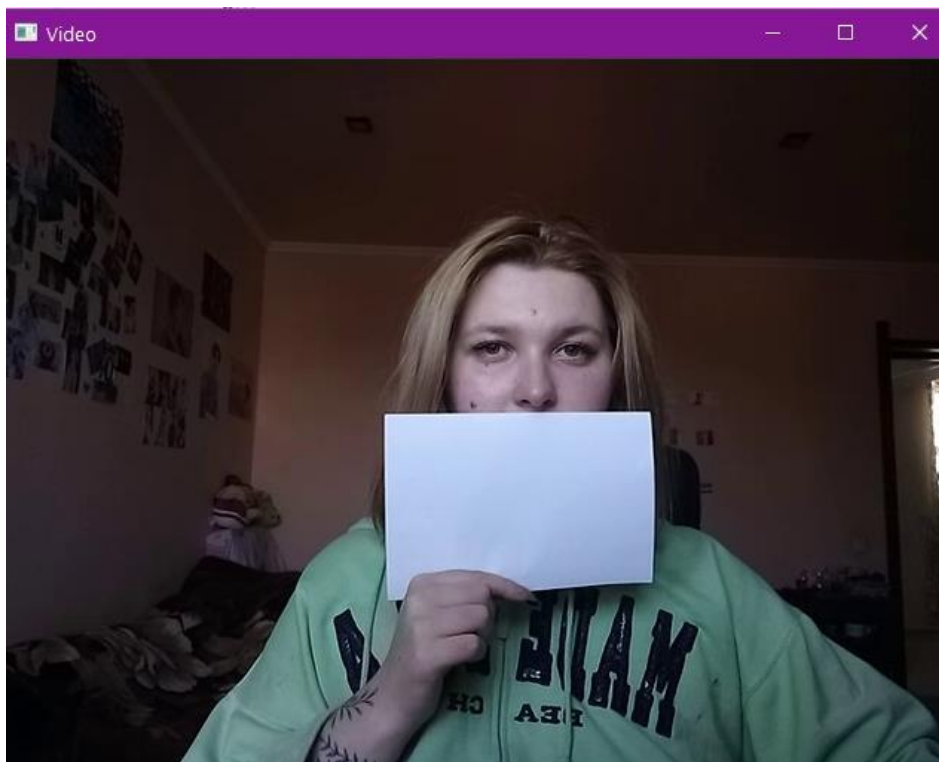


Рис. 17. Белый лист

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что для правильной работы алгоритма существенно важно, чтобы не было закрытых частей лица иначе идентификация не будет происходить. Это является существенным минусом библиотеки `face_recognition`.

Выводы. Разработан программный комплекс на языке Python3, включающий в себя реализацию алгоритма распознавания лиц на основе сверточной нейронной сети с использованием библиотек `Dlib` и `face-recognition`.

Проведены тестовые эксперименты верификации лица человека по фотографии, идентификации человека по видео и в режиме реального времени.

В ходе исследования реализованного программного комплекса на оценку точности, выявлено оптимальное значение, для Евклидова расстояния которое составляет 0,42 и максимальное расстояние, на котором будет происходить верная идентификация - 80-85 см. Оценка влияния освещенности показала, что ухудшение освещенности создает значительный шум, что затрудняет идентификацию, но все равно программа выдает верные результаты.

Дополнительно было выяснено, что для правильной работы библиотеки `face_recognition` существенно важно, чтобы не было закрытых частей лица.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссермен. – Москва : Мир, 1992. – 184 с.
2. Куликович В. А. Применение методики гистограмм направленных градиентов для классификации дактилоскопических изображений / В. А. Куликович // Журн. Белорус. гос. ун-та. Математика. Информатика. – 2017. – № 1. – С. 53–60.

Поступила в редакцию 14.04.2020 г.

NEURAL NETWORK ALGORITHMS FOR FACE RECOGNITION IN BIOMETRIC
AUTHENTICATION AND VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS

Kliushnichenko A.D., Lobko A.IA., Kozhekina E.N., Timchenko V.I.

In this work, a software package in the Python3 language has been developed, which includes the implementation of a face recognition algorithm using a convolutional neural network and Dlib, face-recognition libraries, as well as studies of the influence of various factors.

Keywords: face detection method, face recognition algorithm, python, directional gradient histogram, Euclidean distance, convolutional neural network.

Клюшниченко Анастасия Дмитриевна

студентка кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: ya.supernastyia70@gmail.com

Kliushnichenko Anastasiia Dmitrievna

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Лобко Артур Ярославович

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: arturlobko45@gmail.com

Lobko Artur IAroslavovich

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Кожекина Елена Николаевна

старший преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: e.kozhekina@donnu.ru

Kozhekina Elena Nikolaevna

Senior Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Тимченко Владимир Иванович

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: vlitim@mail.ru

Timchenko Vladimir Ivanovich

Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 004.93'12

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИЙ В ВИДЕОПОТОКАХ НА ОСНОВЕ КАПСУЛЬНЫХ СЕТЕЙ И ЛОГ-ПОЛЯРНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

© 2021 *Негода А.Г., Шарий Т.В.*

В статье описывается метод автоматического распознавания эмоций человека в видеопотоках, опирающийся на эффективные модели капсульных нейронных сетей. Предложена общая схема обучения и работы сети, в которой статические изображения лиц подвергаются лог-полярному преобразованию перед подачей на входной слой. Приведены результаты экспериментов по распознаванию эмоций из набора данных FER-2013 с помощью программной реализации предложенной модели.

Ключевые слова: эмоции, капсульные сети, лог-полярное преобразование, машинное обучение.

Введение. Эмоция представляет собой психический процесс, проявляющийся в мимике, речи и жестах человека. Автоматическое распознавание эмоций уже много лет является актуальным направлением исследований во многих научных и технических областях, основными из которых являются искусственный интеллект, когнитивная психология и нейробиология [1-4]. В настоящее время программные средства автоматического распознавания эмоций человека широко используются в различных сферах человеческой деятельности: медицине, индустрии развлечений, системах управления «умный дом», кибербезопасности и т.д. Основой распознавания является анализ биометрических характеристик, который наглядно отражает эмоциональное состояние человека. Эмоции можно распознать с помощью различных средств, таких как: анализ мимики, интонации голоса, языка тела и, в более сложных случаях, электроэнцефалографии.

Самый простой и практичный способ – анализ выражения лица. Выражение лица является одним из важнейших средств демонстрации намерений и эмоций человека в процессе общения. Несмотря на достигнутый прогресс, автоматическое распознавание мимики с высокой точностью остается сложной задачей. С одной стороны, трудно найти сходство одного и того же эмоционального состояния у разных людей, поскольку они могут выражать одно и то же эмоциональное состояние по-разному. С другой стороны, из-за того, что некоторые эмоциональные состояния слишком трудно различить, также трудно найти различия между выражениями одного и того же человека. Тем не менее, существуют методы автоматического распознавания выражения лица, которые, с точки зрения представления признаков, можно разделить на две категории: обработка статического изображения и обработка последовательности кадров [2, 3].

Таким образом, задача автоматического распознавания человеческих эмоций является весьма актуальной. Проблемы такого рода на протяжении многих лет успешно решались с помощью методов цифровой обработки сигналов, а в последнее время к ним подключаются мощные современные модели глубокого обучения [5, 6], что позволяет достигать значительных результатов.

Постановка задачи. Целью данной работы является повышение качества автоматического распознавания человеческих эмоций в видеопотоке и исследование эффективности капсульных нейронных сетей. Также в статье анализируется влияние предварительной обработки каждого кадра лица на эффективность системы. На

текущем этапе в статье не рассматриваются вопросы совместного анализа мимики, голоса и жестов. Информационная технология распознавания эмоций должна поддерживать процессы загрузки видеопотоков из файлов или захвата их с веб-камеры, а также визуализации, параметризации и аугментации изображений лиц, сохранения параметров в файл, обучения капсульных сетей на основе вычисленных параметров, визуализации результатов обучения и распознавания.

Общая схема автоматического распознавания эмоций в видеопотоках. Как и большинство задач машинного обучения, задача распознавания эмоций предполагает два основных этапа работы: обучение статистической модели-классификатора (капсульной нейронной сети) и непосредственно классификация видеофрагментов / кадров на основе обученной сети по выходным образам «Грусть», «Отвращение», «Злость», «Радость», «Страх», «Удивление», «Нейтрально».

Общая схема функционирования системы автоматического распознавания эмоций в видеопотоках изображена на рис. 1.

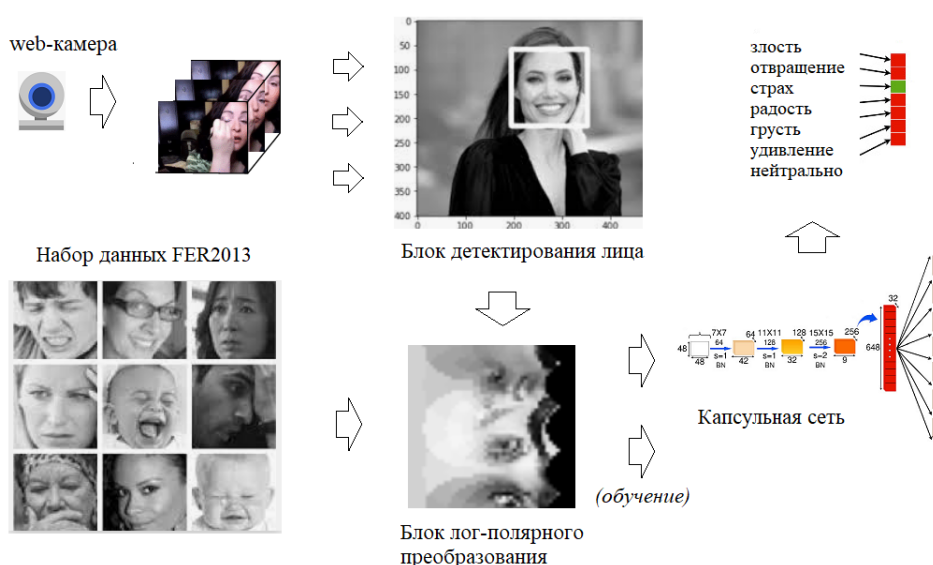


Рис. 1. Общая схема машинного распознавания эмоций в видеопотоке

Видеопоток берется из видеофайла (MP4, AVI или MOV) либо записывается с веб-камеры и представляет собой дискретный набор цифровых изображений (видеокадров). В каждом кадре производится автоматическое детектирование фрагмента лица человека. Все фрагменты кадра с изображением лица приводятся к единому размеру – 48x48 пикселей. Перечисленные операции выполняются с помощью библиотеки OpenCV. Лица детектируются на основе ансамблей регрессионных деревьев с поиском особых точек лица (facial landmarks) [7], т.к. данная модель более эффективна по сравнению с классическим и часто используемым алгоритмом Виола-Джонса.

Полученными изображениями размера 48x48 пикселей оперируют капсульные нейронные сети-классификаторы на этапе распознавания эмоций и на этапе обучения. Они сначала обучаются на большом наборе данных FER2013 (подбирают веса на основе всех изображений лиц из обучающей выборки с разными эмоциями), после чего применяются для вычисления вида эмоции в текущем видеокадре. Для хранения всех вспомогательных и промежуточных данных используются csv-файлы.

В задачах анализа изображений и видео (распознавание, сегментация и т.д.) обычно применяются сверточные нейронные сети и их вариации. Одним из свойств этих моделей глубокого обучения является инвариантность к сдвигу, обусловленная

тем, что слой субдискретизации (пулинга) выполняет выборку данных, которая игнорирует относительное положение объектов на изображении. Данное свойство не является адекватным ни в контексте анализа видеокadra с изображением лица человека, ни в контексте анализа спектрограммы речи. Очевидно, что в видеокadre необходимо учитывать положение отдельных частей лица, а в спектрограмме крайне важным является относительное размещение участков с большей и меньшей амплитудой. Указанного недостатка лишены капсульные сети, в которых слой мах-пулинга заменен слоем капсул с векторными операциями. Капсулы иерархичны, и в капсулах более высокого уровня (например, «лицо») отражается информация о пространственных свойствах низкоуровневых капсул («нос», «рот» и т.д.). Эта информация представлена в виде матрицы весов, которые рассчитываются по алгоритму динамической маршрутизации [5]. Это также позволяет капсульным сетям быть гораздо менее чувствительными к повороту лица и изменениям ракурса изображения.

Капсульная сеть EmotionCaps. Архитектура сети показана на рис. 2. Модель основана на неглубокой капсульной сети, предложенной в [8]. Сеть имеет простую архитектуру типа «Кодер-декодер». Кодер принимает входное изображение размером 48x48 пикселей и кодирует его в вектор параметров инстанцирования капсул, которые затем передаются в декодер, интегрирующий несколько полносвязных слоев для восстановления изображения.

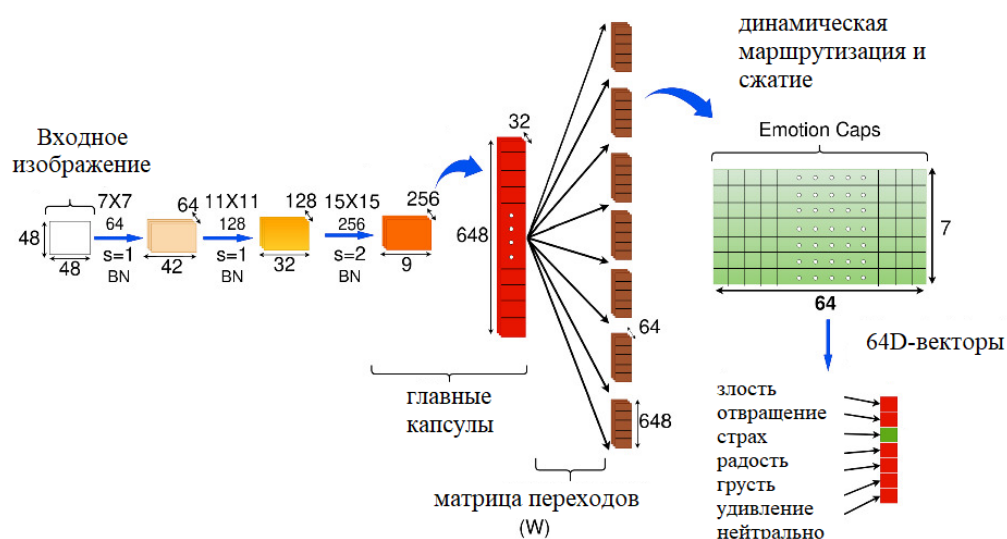


Рис. 2. Архитектура сети EmotionCaps

На первом уровне кодера используется несколько сверточных слоев для извлечения важных отличительных высокоуровневых признаков. За входным слоем следуют еще два блока, состоящих из одного сверточного слоя с функцией активации ReLU, за которыми следует слой пакетной нормализации. Первый блок представляет собой сверточный слой из 64 фильтров с размером ядра (7, 7) и шагом (1, 1). Вторым блоком используется сверточный слой из 128 фильтров с размером ядра (11, 11) и также шагом (1, 1). Выход второго блока подается на главные капсулы. Главная капсула представляет собой сверточную капсулу, которая начинается со сверточного слоя с 256 фильтрами и размером ядра (15, 15) с шагом (2, 2), функцией активации ReLU и пакетной нормализацией. Полученная карта признаков преобразуется в вектор размерности (648, 1, 32), который подается на 648 капсул для получения на выходе отдельного 32-мерного вектора. Капсулы содержат информацию о состоянии

признаков (размер, ориентация и т.д.) в виде вектора, в отличие от скалярных выходов традиционных искусственных нейронов. Размеры этих слоев тщательно подобраны, чтобы уловить сложную взаимосвязь поз лиц, которая играет важную роль, в том числе, в распознавании эмоций. Длина каждого из 648 выходных векторов отображается на диапазон $[0, 1]$ с помощью функции:

$$v_j = \frac{\|x_j\|^2}{1 + \|x_j\|^2} \times \frac{x_j}{\|x_j\|},$$

где v_j – выходной вектор j -ой капсулы; x_j – вход j -ой капсулы.

Описываемая архитектура выполняет сжатие дважды. В первом случае x_j – это 32-мерный вектор, а во втором случае его размерность увеличивается до 64. Длина вектора v_j обозначает вероятность обнаружения признаков, а ориентация v_j обозначает внутреннее состояние обнаруженных признаков. Каждый выходной вектор первой операции сжатия умножается на матрицу преобразования весов для кодирования важных относительных пространственных соотношений между чертами лица нижнего и верхнего уровней. Структура матрицы такова, что она отражает отношения «часть-целое» между различными объектами на изображении. Все предсказанные векторы затем сворачиваются с коэффициентами согласования для получения входного вектора для следующего слоя. Маршрутизация выполняется с помощью итеративного алгоритма динамической маршрутизации, который учитывает простое согласование между направлениями капсулы нижнего и верхнего уровня с помощью softmax-функции в виде логарифмических априорных вероятностей связи между каждой капсулой на нижнем уровне и каждой капсулой на верхнем уровне. Первоначально они устанавливаются в 0, и в ходе процесса маршрутизации оцениваются коэффициенты согласования.

Результатом процедуры маршрутизации является 64-мерный вектор. В капсулах низкого уровня (слой первичных / главных капсул) информация о местоположении закодирована в активных капсулах. При переходе к капсулам более высокого уровня наблюдается определенное смещение акцентов от кодирования локации к кодированию соотношений, поскольку они представляют собой сложные объекты с большим числом степеней свободы. На последнем слое кодера, после применения функции сжатия к выходным векторам, вектор максимальной длины уже соответствует предсказанному классу.

Декодер состоит из деконволюционных слоев, которые используют параметры создания экземпляра 64-мерного вектора из конкретной капсулы EmotionCaps для восстановления входного изображения. Во время обучения сети для реконструкции используется только та капсула, которая соответствует корректной эмоции, а остальные маскируются нулем. При этом во время тестирования капсула предсказанного класса используется для реконструкции, а все остальные маскируются нулем. Сеть декодера используется в качестве регуляризатора для капсульной сети и состоит из четырех полносвязных слоев с размерностями $448 \rightarrow 512 \rightarrow 1024 \rightarrow 2048 \rightarrow 2304$. Выходные данные последнего слоя преобразуются в исходный размер изображения (48×48).

Лог-полярное преобразование. В цифровой обработке изображений широко известно лог-полярное преобразование. Целесообразность его применения обусловлена двумя факторами. Во-первых, мозг человека обрабатывает визуальную информацию не как «евклидово» изображение в декартовой системе координат, а, скорее, как лог-полярную модель. Таким образом, это более реалистичная модель с точки зрения биологии, вдохновленная строением и функционированием сетчатки человеческого

глаза. Во-вторых, лог-полярное преобразование инвариантно к вращению и масштабированию изображения (вращение и масштабирование исходного изображения проявятся лишь в вертикальном и горизонтальном сдвиге в лог-полярном аналоге). В целом, человеческий глаз имеет много преимуществ перед традиционными оптическими камерами, включая тот факт, что он может классифицировать объекты, даже если объект был повернут или изменен в размере. Еще одним, неявным, преимуществом преобразования является то, что основная информация в его результате концентрируется более плотно в одном участке образа. Таким образом, теоретически можно сжать изображение и уменьшить размерность входного слоя капсульной сети, достигая повышения скорости обработки данных и производительности системы в целом. С другой стороны, капсульные сети более естественны для декартовой системы координат, поэтому априори не ожидается повышение точности распознавания эмоции по сравнению с кадрами, не прошедшими предварительную обработку. Но если показатели эффективности двух подходов будут соизмеримы, это можно считать хорошим результатом в контексте данного исследования.

Лог-полярное изображение может быть получено из декартового аналога путем отображения точек из двумерной декартовой системы координат на двумерную лог-полярную систему координат по формулам:

$$\rho = \log((x - x_c)^2 + (y - y_c)^2),$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{y - y_c}{x - x_c}\right),$$

где (x_c, y_c) – координаты центра изображения; θ – угол (поворот) точки (x, y) относительно центра; ρ – логарифм расстояния от центра (x_c, y_c) до точки (x, y) .

Описание эксперимента и анализ результатов. Суть эксперимента состоит в обучении капсульной сети отдельно на изображениях в исходном и лог-полярном виде и затем сравнении традиционных показателей эффективности классификаторов при кросс-валидации: точности, полноты и F1-меры.

Для обучения нейронной сети используется набор данных FER-2013 [9], который был скомпонован с помощью API поиска изображений Google и состоит из 36887 изображений, из которых 28709 используются в качестве обучающих данных, 3589 – для валидации и 3589 – для тестирования. Набор данных содержит изображения с низким разрешением 48×48 пикселей в градациях серого по семи основным классам эмоций (выражений лица). Датасет FER-2013 на сегодняшний день является одним из самых широко используемых и наиболее сложных спонтанных наборов данных для автоматического распознавания эмоций / выражений лица. Точность распознавания эмоций человеком в FER2013 составляет около 68%. Метки основных выражений лица в наборе данных классифицируются следующим образом:

- «0»: 4593 изображений, соответствующих выражению лица «Злость»;
- «1»: 547 изображений, соответствующих выражению лица «Отвращение»;
- «2»: 5121 изображений, соответствующих выражению лица «Страх»;
- «3»: 8989 изображений, соответствующих выражению лица «Счастье»;
- «4»: 6077 изображений, соответствующих выражению лица «Грусть»;
- «5»: 4002 изображения, соответствующих выражению лица «Удивление»;
- «6»: 6198 изображений, соответствующих нейтральному выражению лица.

На рис. 3 показаны примеры изображений из набора FER2013 в исходной (верхний ряд) и лог-полярной форме (нижний ряд).

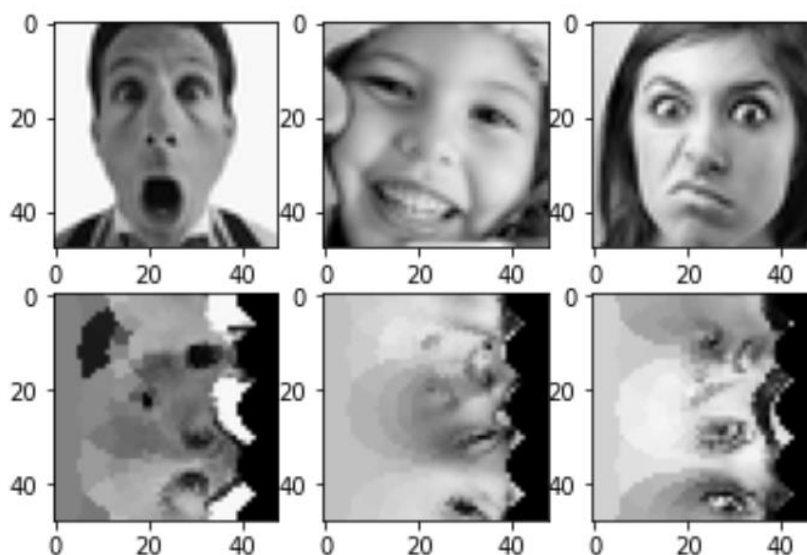


Рис. 3. Примеры изображений из набора FER-2013

Капсульная сеть обучалась в течение 10 эпох при скорости обучения $5 \cdot 10^{-6}$ с оптимизатором Adam. Выполнялись две итерации динамической маршрутизации в капсулах. Обучение модели производится за 25 минут на одном GPU Nvidia GeForce RTX 2060. Сеть программно реализована с помощью библиотеки pyTorch.

В таблице 1 приводятся значения точности (precision), полноты (recall) и F1-меры (F1-score) отдельно для каждого класса эмоций и отдельно для каждого типа входных изображений. Как видно из таблицы 1, эффективность архитектуры EmotionCaps весьма высока, за счет кодирования пространственных отношений с помощью капсул, а также удачного внедрения пакетной нормализации. При этом сеть сохраняет свою эффективность и для изображений лиц после лог-полярного преобразования.

Таблица 1. Результаты экспериментов

Эмоция	Кадры без предобработки			Лог-полярные кадры		
	Precision	Recall	F1-score	Precision	Recall	F1-score
Злость	0.94	0.93	0.94	0.93	0.91	0.92
Отвращение	0.99	0.88	0.93	0.97	0.87	0.92
Страх	0.94	0.91	0.92	0.94	0.91	0.93
Счастье	0.96	0.98	0.97	0.94	0.97	0.96
Грусть	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	0.93
Удивление	0.95	0.96	0.96	0.94	0.94	0.94
Нейтральная	0.93	0.94	0.93	0.93	0.92	0.93

Выводы. Проведенные исследования продемонстрировали принципиальную возможность применения подхода к автоматическому распознаванию эмоций в видеопотоках на основе сочетания модели капсульной нейронной сети EmotionCaps с предварительной обработкой кадров в виде лог-полярного преобразования. На наборе данных FER2013 получена точность классификации семи основных эмоций на отметке 92%, что соизмеримо с эффективностью капсульной сети при обработке входных данных в «сыром» виде. Применение дополнительного преобразования прибавляет незначительную вычислительную сложность, которой можно пренебречь, но при этом, позволяет добиться большей инвариантности к вращению и масштабированию изображений лиц, а также открывает возможности для более эффективного сжатия данных и сокращения размерности задачи и сети.

Дальнейшая работа связана с исследованием возможности разработки гибридного подхода к автоматическому распознаванию эмоций на основе анализа как изображения с выражением лица, так и звукового сигнала с интонацией речи. Также представляет интерес вопрос интеграции предложенного в статье подхода в схему динамической обработки последовательности кадров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tao J. Affective Computing: A Review / J. Tao, T. Tan // Affective Computing and Intelligent Interaction : First International Conference, ACII 2005. – Beijing, China, 2005. – P. 981–995.
2. Ко В. С. A brief review of facial emotion recognition based on visual information / В. С. Ко // Sensors. – 2018. – 18 (2). – P. 401–412.
3. Li S. Deep facial expression recognition: A survey / S. Li, W. Deng. – Текст : электронный // arXiv:1804.08348v2 [cs.CV] 22 Oct 2018. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1804.08348.pdf> (дата обращения: 10.03.2021).
4. Arriaga O. Real-time convolutional neural networks for emotion and gender classification / O. Arriaga, M. Valdenegro, P. Ploger. – Текст : электронный // arXiv:1710.07557v1 [cs.CV] 20 Oct 2017. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1710.07557.pdf> (дата обращения: 10.03.2021).
5. Hinton G. Matrix Capsules with EM Routing / G. Hinton, S. Sabour, N. Frosst. – Текст : электронный // ICLR 2018 : Conference. – URL: <https://openreview.net/pdf?id=HJWLfGWRb> (дата обращения: 10.03.2021).
6. Николенко С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадурин, Е. Архангельская. – Санкт-Петербург : Питер, 2018. – 480 с.
7. Kazemi V. One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees / V. Kazemi, J. Sullivan // IEEE Computer Vision and Pattern Recognition. – 2014. – P. 1867–1874.
8. Shah B. EMOTIONCAPS – Facial Emotion Recognition Using Capsules / B. Shah, K. Bhatt, S. Mandal // Neural Information Processing, ICONIP. – 2020. – Vol. 4. – P. 394–401.
9. FER-2013. – URL: <https://www.kaggle.com/msambare/fer2013> / 01.04.2021 (дата обращения: 10.03.2021). – Текст : электронный.

Поступила в редакцию 15.04.2021 г.

AUTOMATIC EMOTION RECOGNITION IN VIDEO STREAMS BASED ON CAPSULE NETWORKS AND LOG-POLAR TRANSFORM

Negoda A.G., SHarii T.V.

The article presents novel method for automatic human emotion recognition in video streams relying on efficient capsule neural network models. The general scheme of network training and testing is offered where the log-polar transform is applied to input static face images before feeding them into input layer of the network. The results of experiments on emotion recognition in images from the FER dataset are given. In experiments the program implementation of the presented model was used.

Keywords: emotions, capsule network, log-polar transform, machine learning.

Негода Анна Геннадьевна

студентка кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: negoda.anya@gmail.com

Negoda Anna Gennadevna

Student at Department of Computer Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Шарий Тимофей Вячеславович

кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: tsphere@mail.ru

SHarii Timofei Viacheslavovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Computer Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

УДК 517.997.56

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРА ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОЙ
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО РАСПЛАВА**© 2021 *Володин Н.А.*

Рассматривается задача идентификации параметра процесса взрывной кристаллизации из переохлажденного расплава. Найдено выражение для вычисления градиента неявно заданного критерия качества идентификации. Идентифицированное значение параметра процесса получено итерационным методом с регулируемым направлением спуска.

Ключевые слова: идентификация, градиент критерия качества, прямой экстремальный подход.

Введение. Рассмотрим задачу идентификации параметра обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Такие задачи, в частности, часто приходится рассматривать в процессе построения математических моделей взрывной кристаллизации из переохлажденных расплавов. В работе [1] предложена теоретическая модель, характеризующая кристаллизацию взрывного типа из переохлажденного расплава. В предположении сферического образца и с учетом медленного охлаждения массивной печи с малым образцом, получено обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка для температуры образца как функции времени. В свободный член данного уравнения входит коэффициент определяющий степень кристалличности. Однако, определить данный коэффициент из экспериментальных данных не представляется возможным. Определить данный коэффициент можно только из решения задачи параметрической идентификации.

Основная часть. Пусть в области $\Omega = (t_a, t_b)$ функция $f(t)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению:

$$A \frac{df}{dt} + Bf + D = 0, t \in \Omega, \quad (1)$$

с начальным условием:

$$f(t_a) = f_0. \quad (2)$$

Здесь $A(t)$, $B(t)$, $D(\beta(t))$ – непрерывные функции, $\beta(t)$ – идентифицируемый параметр, f_0 – постоянная величина.

Задачу идентификации сформулируем в следующем виде. Необходимо идентифицировать непрерывную функцию $\beta(t)$, доставляющую минимум критерию качества:

$$J(\beta(t)) = \int_{t_a}^{t_b} (f(t) - f_*(t))^2 dt, \quad (3)$$

где $f_*(t)$ – экспериментально определённая функция.

Для направленной минимизации функционала (3) необходимо найти его градиент $\nabla J(t)$. Будем обозначать пространство состояний через $V(\Omega) = L_2$, а пространство управлений – через $U(\Omega) = L_2$. Здесь L_2 – пространство непрерывных функций с интегрируемым квадратом. Тогда $f(t) \in V(\Omega)$, $\beta(t) \in U(\Omega)$.

Проварьируем задачу (1) - (2) по функции состояния $f(t)$ и идентифицируем параметру $\beta(t)$:

$$e \equiv A(t) \frac{d\delta f}{dt} + B(t) \delta f + \frac{\partial D(\beta(t))}{\partial \beta} \delta \beta = 0 \in V(\Omega), \quad (4)$$

$$\delta f(t_a) = 0. \quad (5)$$

Линеаризованный функционал (3) принимает вид:

$$\delta J = 2 \int_{t_a}^{t_b} (f(t) - f_*(t)) \delta f dt = (2(f - f_*), \delta f)_{V^*(\Omega)} \in R. \quad (6)$$

Здесь и далее круглые скобки с индексами $V^*(\Omega)$ и $U^*(\Omega)$ представляют собой скалярные произведения в сопряжённых пространствах V^* и U^* на Ω .

Для отображения линеаризованного уравнения (4) в пространство R введём линейный функционал $h \in V^*(\Omega)$. Умножим скалярно данный функционал на уравнение (4):

$$(h, e)_{V^*(\Omega)} = \int_{t_a}^{t_b} h e dt = 0 \in R. \quad (7)$$

Преобразуем данное выражение к виду скалярного произведения относительно вариации δf . Для этого необходимо преобразовать следующее слагаемое:

$$hA(t) \frac{d\delta f}{dt} = \frac{dhA(t) \delta f}{dt} - \frac{dhA(t)}{dt} \delta f.$$

Полученное дополнительное слагаемое легко интегрируется в выражении (7). Окончательно, с учётом (5), получаем:

$$(h, e)_{V^*(\Omega)} = hA(t) \delta f \Big|_{t_b} - \int_{t_a}^{t_b} \left[\frac{dhA(t)}{dt} \delta f - h \frac{\partial D(\beta(t))}{\partial \beta} \delta \beta - hB(t) \delta f \right] dt. \quad (8)$$

Теперь можно объединить выражение (8) с линеаризованным функционалом (6). Для того, чтобы избавиться от компоненты градиента ∇J , принадлежащей сопряжённому пространству состояний V^* , потребуем:

$$\frac{dhA(t)}{dt} - hB(t) - 2(f - f_*) = 0 \in V^*(\Omega). \quad (9)$$

В конечный момент времени потребуем:

$$h(t_b) = 0. \quad (10)$$

При этом вариация критерия качества идентификации принимает вид:

$$\delta J = \int_{t_a}^{t_b} h \frac{\partial D(\beta(t))}{\partial \beta} \delta \beta dt = (\nabla J, \delta \beta)_{U^*(\Omega)},$$

где градиент:

$$\nabla J = h \frac{\partial D(\beta(t))}{\partial \beta} \in U^*(\Omega). \quad (11)$$

Обсудим проблему идентифицируемости. Сопряженная задача (9) – (10) решается в обратном по времени направлении с нулевым начальным условием. В силу непрерывности и непрерывной дифференцируемости функций, входящих в уравнения (1) и (9), задачи Коши (1), (2) и (9), (10) имеют решения и притом единственные [2]. Источником ненулевого решения h сопряженной задачи является свободный член уравнения (9). Следовательно, для функционала заданного в области Ω корректно определяется градиент ∇J через нетривиальное решение сопряженной задачи на Ω . Поэтому, согласно [3], функция $\beta(t)$ идентифицируема на Ω по функционалу $J(\beta(t))$.

На основе градиента (11) организуется направленная итерационная коррекция функции $\beta(t)$ [4]:

$$\beta^{k+1}(t) = \beta^k(t) - b^k \alpha(t) \nabla J^k(t), t \in \Omega, \quad (12)$$

где k - номер итерации. Здесь глубина спуска на каждой итерации вдоль выбранного направления минимизации $b^k \alpha(t) \nabla J^k(t)$ определяется числом b^k по методу [4]:

$$\begin{cases} \text{если } J^{k+1} \leq J^k, & \text{тогда } b^{k+1} = b_1 b^k, b_1 > 1; \\ \text{если } J^{k+1} > J^k, & \text{тогда повторяется предыдущая} \\ & \text{итерация, при } b^{k-1} = b_2 b^k; 0 < b_2 < 1. \end{cases} \quad (13)$$

Функция $\alpha(t) > 0$. Если $\alpha(t) = 1$, то алгоритм (12) принимает вид алгоритма наискорейшего спуска. В работах [4, 5] показано, что традиционные градиентные методы, включая метод сопряженных градиентов, оказываются мало эффективными. Практическая сходимость алгоритмов не обеспечивает сходимость в пространстве управлений к точному решению за значительное число итераций.

В выражении (13) принималось $b_1 = 1.2$, $b_2 = 0.5$. Функция $\alpha(t)$ регулирует направление спуска и определяется из условия не более 15% первого изменения идентифицируемой функции $f(t)$ [4]:

$$\alpha(t) = \frac{|0.15 \beta^0(t)|}{|\nabla J^0(t)|}.$$

Для расчётов приняты следующие значения функций, исходя из свойств объекта [1]: $A(t) = 1$, $B(t) = \gamma$, $D(\beta(t)) = -f_p(t) - \omega \beta(t)$, где параметры объекта задавались равными $\gamma = 0,1213$, $\omega = 1048$, $f_p = 216.224 + (378,775t - 261.224) \exp(-0.00143841t)$.

Начальное приближение задавалось $\beta_0(t) = 0.005$. Данному приближению соответствовало максимальное расхождение функций $\max_{\Omega} |f - f^*| = 431$ К за время идентификации $t_b - t_a = 500$ с.

На рисунке 1 приведены результаты идентификации $\beta(t)$ за 20 итераций по алгоритму (12) для реального процесса взрывной кристаллизации расплавов металлов на основе экспериментальных данных [1]. Идентифицированное значение $\beta(t)$ отмечено пунктирной кривой.

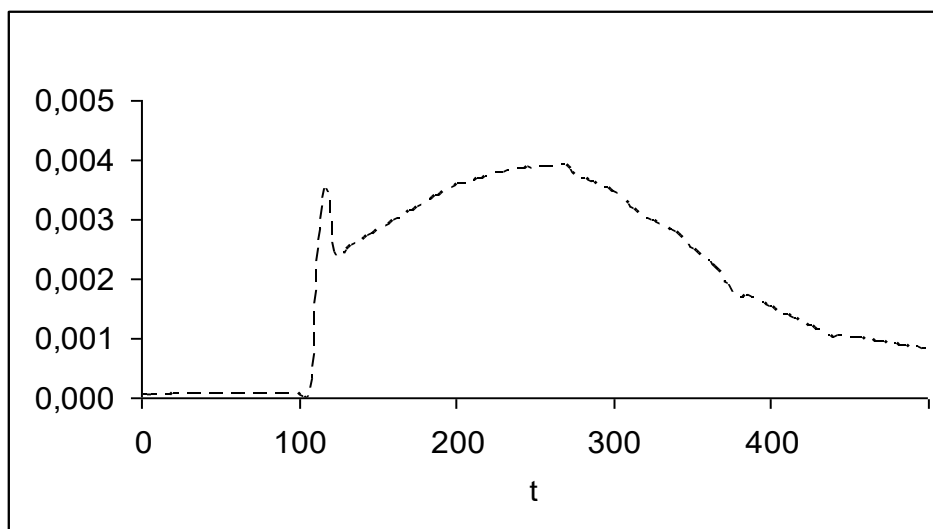


Рис. 1. Идентифицированная функция $\beta(t)$ по экспериментальным данным

При идентификации по методу (12) максимальное расхождение моделируемой и экспериментальной функций за 20 итераций составило $\max_{\Omega} |f - f_9| = 1.165$ К, критерий качества идентификации уменьшился в $3,6 \cdot 10^6$ раз, а норма градиента критерия качества идентификации уменьшилась в 860 раз и составила 10380. Данные результаты подтверждают высокую эффективность метода.

На рисунке 2 пунктирной кривой изображена экспериментально наблюдаемая функция $f_*(t)$, а функция, соответствующая идентифицируемому значению $\beta(t)$, отмечена непрерывной кривой.

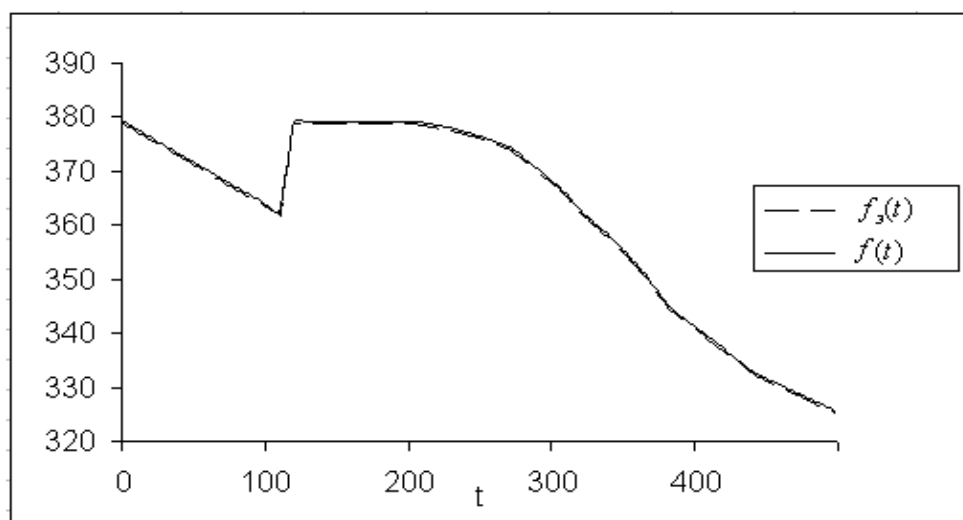


Рис. 2. Функция состояния системы

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о хорошей точности моделирования, которую обеспечивают алгоритмы параметрической идентификации, основанные на прямом экстремальном подходе [4], что позволяет рекомендовать их для идентификации параметров в системах, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. Д. Математическое построение кривой охлаждения, характеризующей кристаллизацию из переохлаждённого расплава / В. Д. Александров, В. А. Постников // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т.78. – № 6. – С.64-69.
2. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Л. С. Понтрягин. – Москва : Наука, 1965. – 332 с.
3. Толстых В. К. Идентифицируемость систем с распределёнными параметрами / В. К. Толстых // Автоматика и телемеханика. – 1989. – №10. – С.49-56.
4. Толстых В. К. Прямой экстремальный подход для систем с распределёнными параметрами / В. К. Толстых. – Донецк : Юго-Восток, 1997. – 177 с.
5. Огурцов А. П. Прямая оптимизация теплофизических процессов / Ф. В. Недопекин, В. К. Толстых, Н. А. Володин. – Донецк : Юго-Восток, 1997. – 150 с.
6. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф.П. Васильев. – Москва : Наука, 1988. – 552 с.

Поступила в редакцию 01.04.2021 г.

IDENTIFICATION OF THE PARAMETER OF THE EXPLOSIVE CRYSTALLIZATION PROCESS FROM A SUPERCOOLED MELT

Volodin N.A.

The problem of identifying the parameter of the explosive crystallization process from a supercooled melt is considered. An expression is found for calculating the gradient of an implicitly defined identification quality criterion. The identified value of the process parameter is obtained by an iterative method with an adjustable descent direction.

Keywords: identification, quality criterion gradient, direct extreme approach.

Володин Николай Александрович

кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры компьютерных технологий
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: nvolodin@yandex.ru

Volodin Nikolai Aleksandrovich

Candidate of Physico-Mathematical Sciences,
Docent, Associate Professor at Department of
Computer Technologies of Donetsk National
University,
DPR, Donetsk.

УДК 621.577

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

© 2021 Карнаух В.В., Бирюков А.Б.

В настоящей работе произведен анализ возможности использования теплоты воды в цикле оборотного водоснабжения без повышения ее температурного уровня для решения задач теплоснабжения.

Ключевые слова: оборотная вода, тепловой потенциал, низкопотенциальная теплота, вторичные энергетические ресурсы, низкотемпературное отопление, горячее водоснабжение, вентиляция.

Введение. Важной задачей рационального развития энергетического хозяйства является максимальная экономия используемых энергетических ресурсов и снижение суммарных затрат на добычу, транспорт и использование топлива.

Приблизительно половина всей тепловой и электрической энергии, расходуемой в промышленности, выбрасывается в виде отходящей теплоты в воздушный и водный бассейны. Отходящая теплота выводится из процесса при температуре, превышающей температуру окружающей среды, поэтому она обладает дополнительным тепловым потенциалом. По некоторым оценкам организованный сброс низкопотенциальной теплоты (НПТ) промышленностью составляет 5 млрд ГДж в год.

Имеются четыре основные причины необходимости утилизации тепловой энергии [1]:

1. Экономическая. Затраты на энергию становятся все более высокими, и утилизация отходящего тепла может значительно сократить общие издержки производства.

2. Обеспеченность тепловой энергией. Легко доступное отходящее тепло позволяет существенно снизить потребности предприятия в тепловой энергии.

3. Сбережение природных ресурсов государства. Путем утилизации тепла уменьшается потребность предприятий в дефицитных видах топлива, тем самым продлевается срок их обеспеченности.

4. Экологическая. Утилизация сбросной теплоты снижает ее воздействие на окружающую среду.

При выборе устройств для утилизации отходящей теплоты должны учитываться следующие параметры:

а) температура отходящей теплоты; б) интенсивность потока отходящей теплоты; в) химический состав и наличие загрязняющих агентов в потоке отходящей теплоты; г) необходимые температуры нагреваемых сред.

В работе [2] представлены данные по возможной экономии за счет использования низкопотенциальной теплоты (табл. 1). Как видно, самым мощным тепловым вторичным энергоресурсом и источником низкопотенциальной теплоты является охлаждающая вода на ТЭС, АЭС и промышленных предприятиях. Промышленные предприятия потребляют огромное количество воды для охлаждения машин и рабочих тел в различных технологических процессах. Объем оборотной и повторно используемой в промышленности воды для РФ и ДНР составляет около 60% всего объема используемой промышленностью воды.

Таблица 1. Ресурсы экономии органического топлива за счет использования низкопотенциальной теплоты

Ресурсы	Валовый потенциал, млн т у.т./год	Технический потенциал, млн т у.т./год	Экономический потенциал, млн т у.т./год
Станции аэрации	160	30	9
Системы обратного водоснабжения	200	40	12
Незамерзающие водоисточники	100	20	6
Вентиляционные выбросы промышленных зданий и сооружений	9	5	1,5
Слабоминерализованные	56	10	3
Итого	525	105	31,5

Вода с температурой выше 60°C считается горячей, а с температурой ниже 60°C – теплой. Обратная вода в зависимости от вида технологического процесса может быть транспортирующей и поглощающей, а также теплоносителем, циркулирующим в охлаждающей системе обратного водоснабжения. Эти «тепловые потоки» имеют круглый год температуру 20-40 °С, поэтому относятся к низкотемпературным ВЭР. Традиционно принято считать, что при такой температуре отсутствует практическая возможность использования этой теплоты непосредственно. Поэтому обратная вода охлаждается в градирнях или других испарительных охладителях, отдавая теплоту в атмосферу.

Доля обратного и повторно-последовательного использования воды в валовом водопотреблении на производственные нужды с 2000 г. по 2017г. увеличилась более, чем на 5% против одновременного снижения примерно на 22% прямоточного использования воды на производственные нужды [3]. Следовательно, имеют место позитивные, правда, медленные и не вполне устойчивые тенденции по этому важному водосберегающему и водоохранному показателю. Поэтому работы по утилизации бросовой теплоты являются актуальными.

Требования, предъявляемые к температуре охлажденной воды (главный технологический параметр), диктуются конкретным производственным процессом и эксплуатационными свойствами оборудования, исходя из экономичности и надежности его работы, и определяют выбор типа градирни.

Отходящая теплота обратной воды находит применение в абсорбционно-холодильных агрегатах, для кондиционирования воздуха, в тепловых насосах. Это сопровождается неминуемой затратой внешней работы.

Не менее интересным является анализ вопроса «утилизации» отходящей теплоты промышленных вод без повышения их теплового потенциала.

В таблице 2 приведены данные об использовании обратной воды в промышленности, требования к ее температуре в летний период и наличие загрязнений.

Таблица 2. Данные об использовании промоборотной воды [4]

Отрасль	Расход воды на охлаждение, %	Водооборот, %	Подача (наибольшая), м ³ /ч	Температура воды, °С		Вид загрязнений
				Горячая	Охлажденная	
Нефтепереработка	95	94	100	40...45	25...28	Нефтепродукты механические примеси
Химическая	74...95	64...96	100	40...45	25...30	Органические, минеральные
Черная металлургия	75	93	300	35...45	30...35	Нефтепродукты механические примеси
Цветная металлургия	20	91	5	35...40	25...30	То же
Целлюлозная, бумажная	7	65	1	32...35	25...27	–
Теплоэнергетика	96	60	1000	35...45	25...30	–
Легкая	–	–	6	35...36	27...28	–
Пищевая	35...42		78	30...45	25...30	

Целью данной работы является предварительный анализ возможности использования теплоты воды в цикле оборотного водоснабжения для решения задач теплоснабжения без повышения ее температурного потенциала.

Постановка задачи. Основными задачами теплоснабжения являются отопление, горячее водоснабжение и вентиляция. Температура оборотной воды, направляемой на охлаждение составляет обычно 35-45°С. Этот температурный уровень существенно ниже тех значений, которые традиционно используются для решения названных задач теплоснабжения. Ниже последовательно рассмотрено решение вопроса об обеспечении возможности использования теплоты оборотной воды при имеющемся температурном потенциале для выполнения каждой из задач теплоснабжения.

Отопление. Для решения задач отопления используются разные температурные графики (значения температур на выходе из источника теплоты и входе в него). Системы отопления делятся на низко- и высокотемпературные. Традиционно в автономных системах отопления используется температурный режим, при котором температура подачи составляет +70...+80 °С, а температура обратки – +60 °С. Даже для низкотемпературной системы отопления температурный график составляет 60/40 °С. Поэтому температура воды, поступающей на охлаждение в оборотном цикле недостаточна для использования в рамках классических решений. Каждое здание имеет вполне определенную отопительную характеристику и потому при существенном понижении температуры греющего теплоносителя необходимо соответствующее увеличение площади поверхности отопительных приборов. При использовании радиаторов или конвекторов попытка перехода на температуру греющего теплоносителя 35-40°С привела бы к необходимости увеличения поверхности приборов в 5-10 раз, что обычно представляется невозможным в том числе и с архитектурной точки зрения.

Логичным решением этого противоречия является применение технологии «мягкого тепла», предусмотренной в европейском стандарте EN422. Максимальный уровень температуры пола в соответствии с правилами комплексной безопасности

зданий, установленными СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», варьирует в диапазоне $+24\dots+31^{\circ}\text{C}$.

Классическая схема реализации этой технологии с использованием водогрейного котла представлена на рис. 1. Котел в большинстве случаев нагревает воду до $70\dots90^{\circ}\text{C}$, для понижения температуры применяются смесительные узлы и термостатические трехходовые смесительные клапаны.

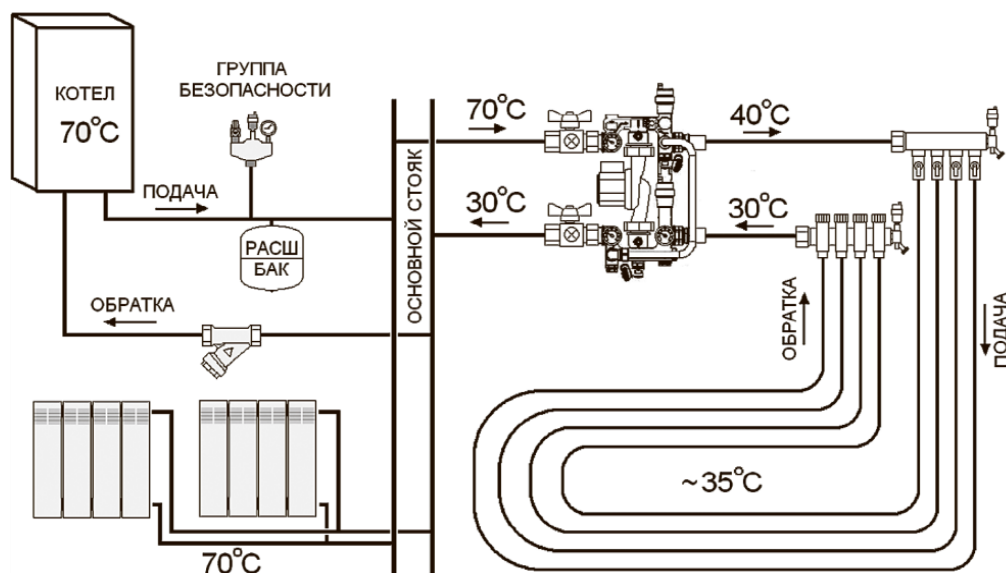


Рис. 1. Классическая схема системы «теплый пол»

Для решения поставленной задачи в рассматриваемом в данной работе случае предлагается часть идущей на охлаждение воды напрямую направлять в трубчатую систему теплого пола (рис. 2).

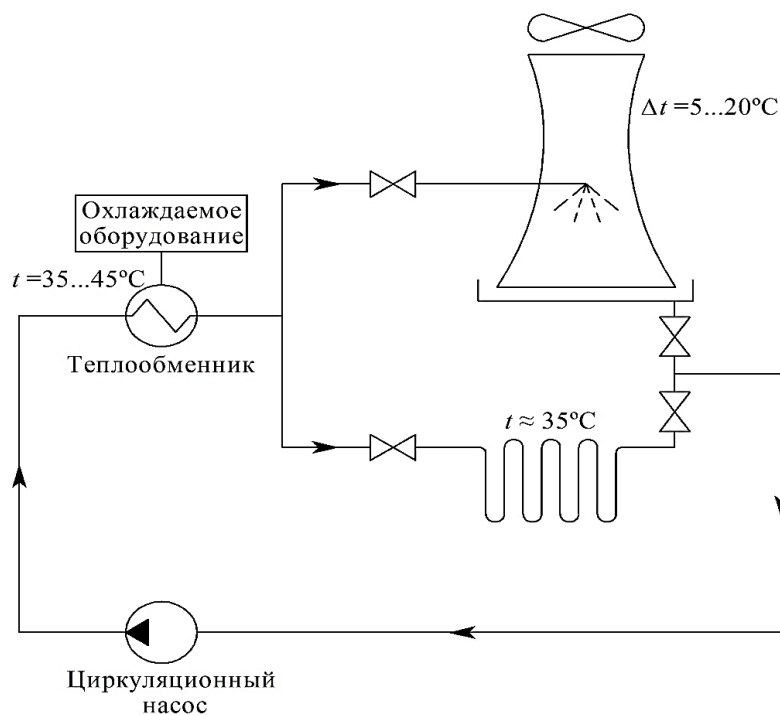


Рис. 2. Схема подключения системы «теплый пол» к системе обратного водоснабжения

Наиболее целесообразно прорабатывать такое техническое решение на стадии проектирования новых промышленных предприятий, в составе которых используется система оборотного промышленного водоснабжения, для отопления административных зданий.

Системы предварительного подогрева воды в системах горячего водоснабжения. Согласно Своду Правил 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий», составленному на основании СНиП 2.04.01-85, а также СанПиН 2.1.4.1074, СанПиН 2.1.4.2652, СанПиН 2.1.4.2496-09 и СанПиН 2.1.4.2496 расчетное значение температуры горячей воды независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60°C и не выше 65°C.

Температурный уровень оборотной воды, направляемой на охлаждение, не позволяет нагревать водопроводную воду до заданной температуры. Однако, учитывая, что температура исходной водопроводной воды в течение года меняется в пределах 5-15°C, при помощи оборотной воды можно провести предварительный подогрев водопроводной воды.

Подобная техническая задача решается при реализации двухступенчатого подогрева воды в тепловых пунктах зданий, присоединенных к системе централизованного теплоснабжения. В этом случае предварительный подогрев водопроводной воды производится за счет использования теплоты обратной воды, идущей от теплоиспользующих установок в обратную магистраль. При этом решаются две задачи:

- во-первых, снижается расход сетевой воды, что способствует увеличению пропускной способности трубопроводов тепловой сети и снижению потребляемой сетевыми насосами электрической мощности;

- во-вторых, снижается температура воды в обратном трубопроводе, что уменьшает потери теплоты в наружных сетях, а при теплоснабжении от ТЭЦ способствует дополнительной выработке электрической энергии по теплофикационному циклу.

Теплообменник первой ступени устанавливается на обратном трубопроводе системы отопления последовательно с ней (рис. 3). Он работает как экономайзер. В нем холодная вода с температурой +5 °С подогревается до 30-40°C. Затем подогретая вода подается во вторую ступень и догревается до требуемой температуры, обычно 60°C, горячим теплоносителем. Вторая ступень включается параллельно или последовательно системе отопления в зависимости от схемы.

Требования к температуре теплоносителя в отопительной системе производственного или общественного объекта регламентируются ДБН (В. 2.5-39 Тепловые сети) и СНиП 2.04.05 «Отопление вентиляция и кондиционирование», которые и устанавливают укладку, проектирование и использование инженерных систем.

Совершенно очевидно, что идея этого решения может быть легко переориентировано на решение задачи, рассматриваемой в данной работе. В теплообменнике первой ступени нагрев водопроводной воды будет производиться за счет использования теплоты оборотной воды, остальная часть схемы остается без изменений (рис. 4).

Расход воды на отопление является величиной постоянной и поддерживается регулятором расхода РР. Расход сетевой воды на ГВС – величина переменная. Постоянная температура горячей воды на выходе из подогревателя поддерживается регулятором температуры РТ в зависимости от ее расхода.

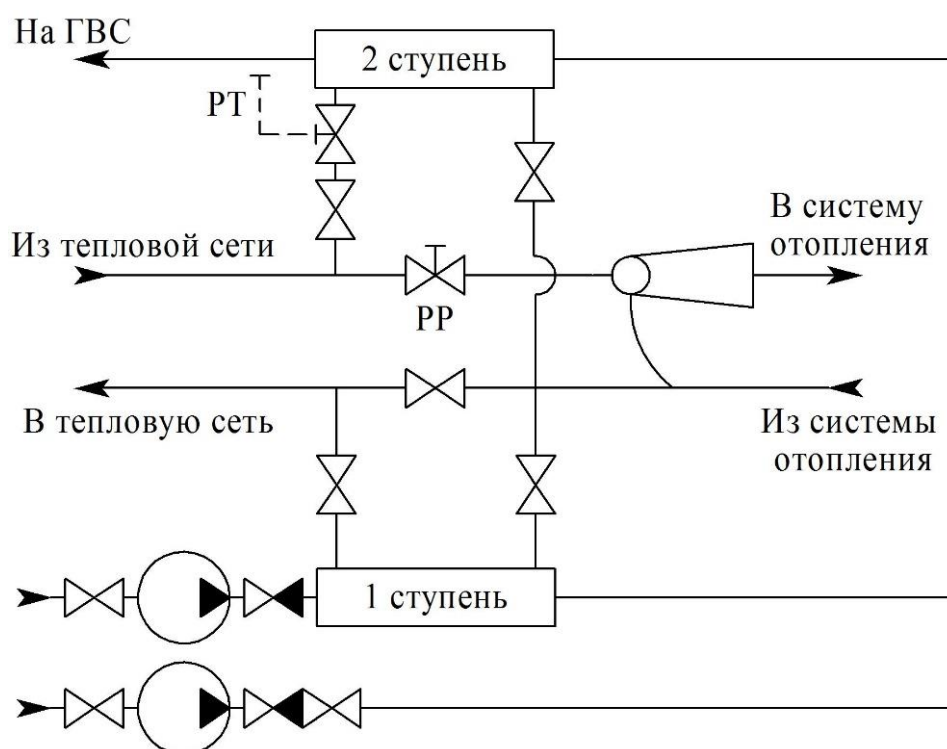


Рис. 3. Двухступенчатая последовательная схема присоединения к теплосети систем отопления и горячего водоснабжения [5]

Достоинством схемы является независимый расход теплоты на отопление от потребности теплоты на ГВС. При этом наблюдаются колебания расхода сетевой воды на абонентском вводе, связанные с неравномерным потреблением воды на горячее водоснабжение, поэтому устанавливается регулятор расхода РР, поддерживающий постоянный расход воды в системе отопления.

Системы вентиляции воздуха. Параметры микроклимата при отоплении и вентиляции помещений (кроме помещений, для которых метеорологические условия установлены другими нормативными документами) строго нормируются по ряду нормативных документов, например, по ГОСТ 30494, ГОСТ 12.1.005, СанПин 2.1.2.1002 и СанПиН 2.2.4.548 для обеспечения метеорологических условий и поддержания чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещений (на постоянных и непостоянных рабочих местах). Основные санитарно-гигиенические требования к вентиляции производственных помещений определены санитарными нормативами, а также строительными нормами и правилами СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Для эффективной работы вентиляции важно, чтобы еще на стадии ее проектирования было предусмотрено выполнение ряда санитарно-гигиенических и технических требований. Так, температура приточного воздуха в помещении должна быть 18...22°C (не ниже 12°C), оптимальная относительная влажность – 40...60%.

Стандартная комплектация вентиляционной установки включает воздуховоды, клапана воздушные, фильтры грубой, средней и тонкой очистки воздуха, калорифер, вентилятор, шумоглушитель и др.

Калориферы, используемые для подогрева уличного воздуха зимой, бывают электрическими или водяными. В водяных калориферах теплоноситель – вода с температурой 70...95 °C.

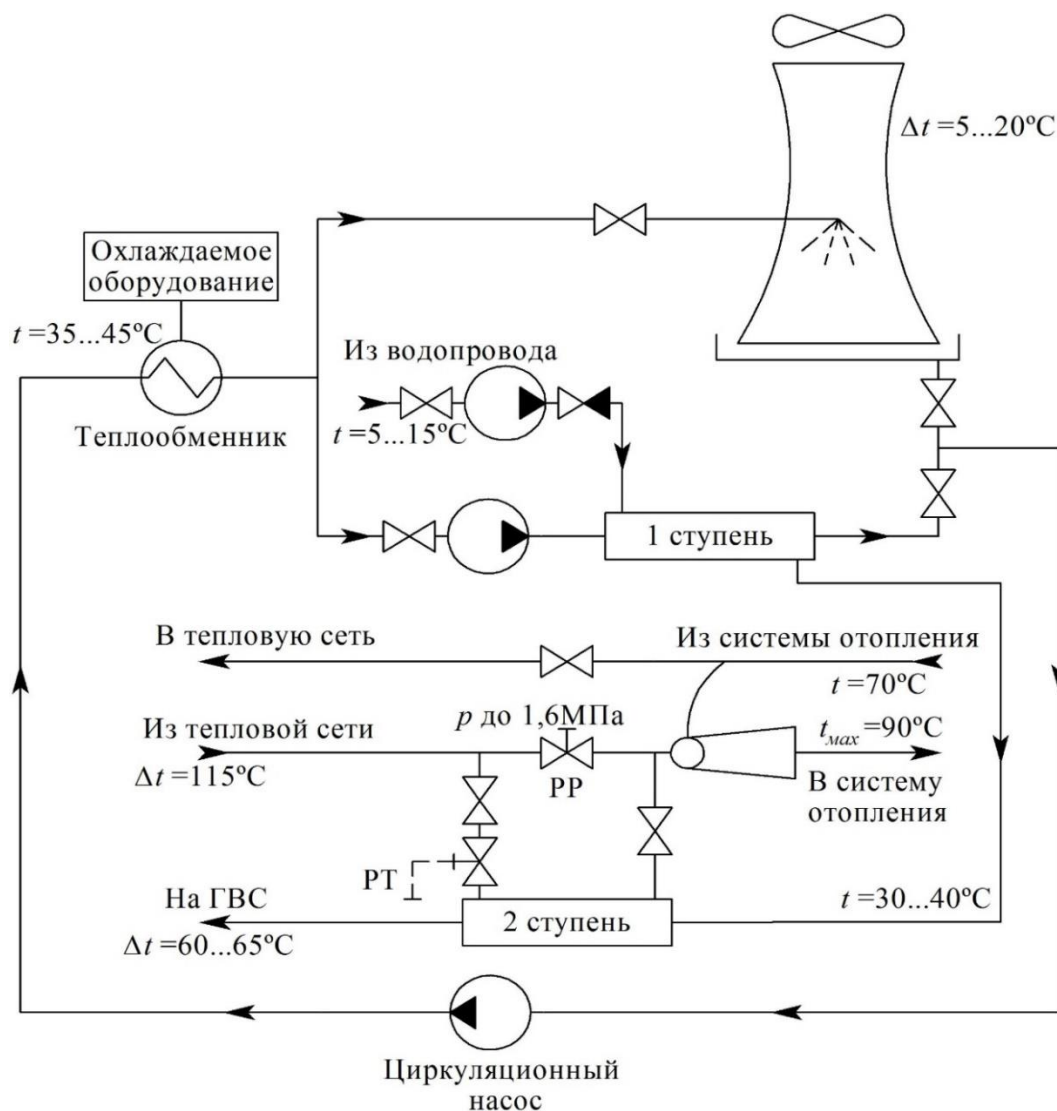


Рис. 4. Схема подключения системы горячего водоснабжения к системе обратного водоснабжения

Поскольку температура охлаждаемой обратной воды выше заданной температуры воздуха, очевидно, что с ее помощью задача подогрева вентиляционного воздуха может быть решена. Однако поскольку температура охлаждаемой обратной воды существенно ниже традиционно принятой температуры греющего теплоносителя, направляемого в калорифер, решение задачи по предложенному пути приведет к существенному увеличению требуемой поверхности теплообмена калорифера. Схема подключения калорифера центрального кондиционера к системе обратного водоснабжения показана на рис. 5.

Идея использования теплоты обратной воды в калорифере центрального кондиционера может быть сфокусирована и на фанкойл, работающий в режиме обогрева.

Фанкойл – это агрегат, включающий теплообменник с вентилятором, фильтр, пульт управления (встроенный или выносной). Воздух из помещения подается вентилятором на теплообменник фанкойла, в котором он охлаждается или подогревается. Сегодня наиболее широкое применение нашли системы «чиллер-фанкойл».

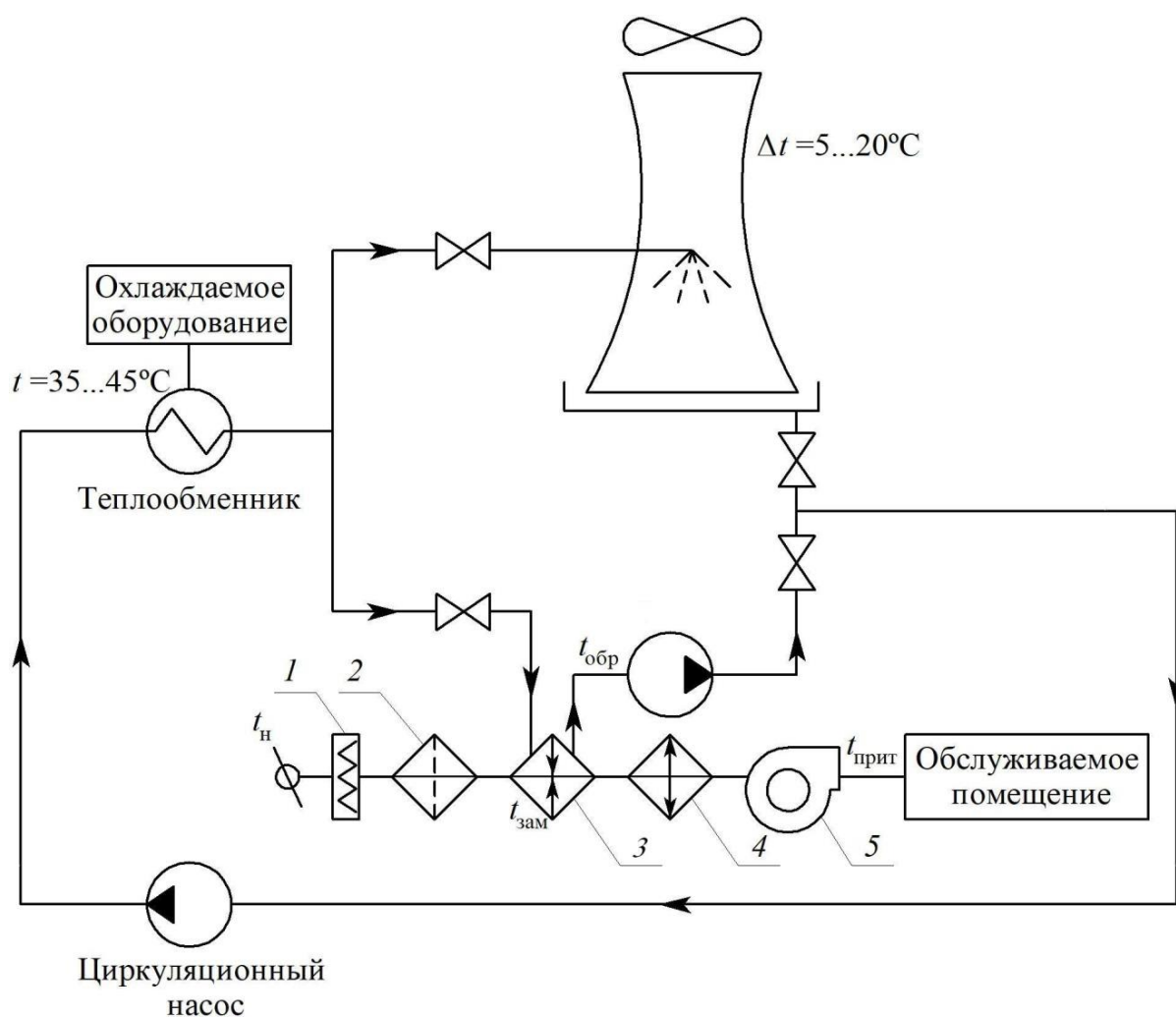


Рис. 5. Схема подключения калорифера центрального кондиционера к системе обратного водоснабжения: 1 – направляющие решетки; 2 – фильтр; 3 – водяной калорифер; 4 – охладитель; 5 – вентилятор

По рекомендациям во избежание температурного расслоения воздуха в помещении, фанкойл не следует запитывать водой, температура которой превышает 65 °С. Использование воды с очень высокой температурой может вызывать поскрипывание, связанное с тепловым расширением компонентов (пластика и металла). Рабочий диапазон температуры воды, подаваемой на фанкойл 39...65°C, поэтому обратная вода с температурой 35...45°C вполне может рассматриваться как теплоноситель. Позиция 3 на рис. 5 может быть заменена на фанкойл.

Расчет показателей экономии вторичных энергоресурсов. Количество утилизированной теплоты:

$$Q_{\text{ут}} = G \cdot c \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}),$$

где G – массовый расход оборотной воды, кг/с; c – удельная массовая теплоемкость воды, кДж/(кгК); $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$ – значения температуры воды на входе и на выходе в оборудование (ТОА 1 ступени, теплый пол, калорифер, фанкойл), °С.

Количество сэкономленного топлива, которое бы было использовано в рамках теплогенерирующей установки для выработки соответствующего количества теплоты:

$$V_T = \frac{Q_{ут}}{Q_H^P \cdot \eta_{уст}},$$

где V_T – количество сэкономленного топлива, м³/с; $Q_{ут}$ – количество утилизированной теплоты, кВт; Q_H^P – низшая теплота сгорания природного газа, кДж/м³; $\eta_{уст}$ – КПД теплогенерирующей установки.

Годовой экономический эффект от использования теплоты оборотной воды:

$$\text{Эк} = \left(\frac{V_T \cdot n \cdot 3600}{1000} \text{Ц}_T - \text{Д} \right),$$

где Эк – годовой экономический эффект, руб.; Ц_T – цена топлива, руб./1000 м³; n – число часов в году, когда используется обратная вода для работы установки; Д – дополнительные эксплуатационные затраты, связанные с использованием теплоты оборотной воды, руб./год.

Срок окупаемости:

$$T_{ок} = \frac{\text{Инв}}{\text{Эк}},$$

где Инв – объем инвестиций на создание и введению в эксплуатацию установки по использованию теплоты оборотной воды, руб.

Выводы. Использование систем оборотного водоснабжения относится к первостепенным направлениям экологизации промышленных предприятий и рационального развития энергетического хозяйства.

В работе приведены примеры использования теплового потенциала воды в цикле оборотного водоснабжения без повышения ее температурного уровня для решения задач теплоснабжения, таких как система «теплый пол», обеспечение ГВС, нагрев воздуха в вентиляционных установках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потенциальные возможности утилизации сбросной теплоты. – Текст : электронный // Helpiks.org : сайт. – URL: <https://helpiks.org/6-15788.html> (дата обращения: 17.12.2020).
2. Закиров Д. Г. Использование низкопотенциальной теплоты : монография / Д. Г. Закиров, А. А. Рыбин. – Москва : РУСАЙНС, 2015. – 156 с.
3. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для вузов / О. Л. Данилов, А. Б. Гаряев, И.В. Яковлев [и др.] ; под ред. А. В. Клименко. – Москва : Изд. дом МЭИ, 2010. – 424 с.
4. Крюков О. В. Анализ структур современных водооборотных систем промышленных и энергетических предприятий / О. В. Крюков. – Текст : электронный // Химическая техника. – 2014. – № 10. – URL: <https://chemtech.ru/avtomatizacija-vodooborotnyh-sistem-ohlazhdenija-s-ventiljatornymi-gradirnjami-dlja-himicheskikh-i-neftehimicheskikh-proizvodstv/> (дата обращения: 20.12.2020).
5. Копко В. М. Теплоснабжение : курс лекций для студентов специальности «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» высших учебных заведений / В. М.Копко. – Москва : АСВ, 2012. – 336 с.

Поступила в редакцию 07.04.2021г.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF DIRECT USING OF RETURN WATER HEAT
TO SOLVE HEAT SUPPLY PROBLEMS

Karnaikh V.V., Biriukov A.B.

In this paper, a preliminary analysis of the possibility of using the heat of water in the cycle of circulating water supply without increasing its temperature level to solve heat supply problems was made.

Keywords: circulating water, thermal potential, low-grade heat, secondary energy resources, low-temperature heating, hot water supply, ventilation.

Карнаух Виктория Викторовна

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры холодильной и торговой техники имени Осокина В.В. ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», ДНР, г. Донецк.
E-mail: karnaikh.vita0629@gmail.com

Karnaikh Viktoriia Viktorovna

Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor at Department of Refrigerating and Trade Equipment named after V.V. Osokin of Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovskiy, DPR, Donetsk.

Бирюков Алексей Борисович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической теплофизики, проректор по научно-педагогической работе ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: birukov.ttf@gmail.com

Biriukov Aleksei Borisovich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Technical Thermophysics, Vice-rector of Scientific and Pedagogical Work of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

УДК 669:536.24

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В УСЛОВИЯХ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА ОТ РАСТВОРЕННОГО В НЕМ АЗОТА

© 2021 Захаров Н.И., Тупилко И.В.

Исследованы процессы массопереноса азота в жидком металле, в котором азот растворим, при азотации расплава в следующей технологической цепочке: а) выпуск металла из печи в ковш с пористым днищем, через которое расплав продувается аргоном под слоем шлака; б) продолжение продувки после заполнения ковша металлом; в) комплексное воздействие на металл. Обосновано, что исследование процессов тепломассопереноса и выбор рациональных параметров технологии – шаг к повышению производительности внепечной обработки металла с позиции энергоресурсосбережения.

Ключевые слова: энергоресурсосбережение, тепломассоперенос, жидкий металл, азот, математическая модель.

Введение. Одним из эффективных способов дегазации металлургических расплавов является комплексное воздействие на металл продувки аргоном с наложением на поверхность расплава электростатического поля с источником в вакуум-камере [1].

Проблема энергоресурсосбережения остается одной из актуальных. Применительно к повышению производительности металлургических технологий ее решение приобретает вид разработки их энергоресурсосберегающих режимов в условиях интенсификации процессов тепломассопереноса.

Азот в расплавах железа и металлов с достаточно высокой температурой плавления растворим, а его молекулы диссоциированы на атомы [2]. Избыток азота в изделиях из металла, как известно, приводит к их преждевременному старению.

Основная часть. Перспективная следующая технологическая цепочка комплексного воздействия на металл с целью его дегазации [1, 3]: а) выпуск металла из плавильной печи в ковш с пористым днищем, через которое расплав продувается аргоном под слоем шлака; б) продолжение продувки (после заполнения ковша расплавом); в) комплексное воздействие на металл (после слива шлака) вакуумом, продувкой аргоном и электростатическим полем докритических напряженностей.

Процессы тепломассопереноса атомов азота в жидком металле в первые два этапа технологической цепочки могут быть описаны уравнением, которое является обобщением уравнения [3]:

$$\varepsilon = \frac{1}{Q_N} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{\dot{m}}{m_0} \left(\int_0^{H_M} \left(\frac{I dr}{U} \right) d\tau \right), \quad (1)$$

где ε – эффективность тепломассопереноса атомов азота в жидком металле (степень его дегазации); Q_N – начальная концентрация азота в расплаве; τ_0, τ – начальное и текущее время продувки жидкой ванны аргоном; \dot{m} – секундный расход аргона; m_0 – его масса в единичном пузыре; U – скорость всплывания пузырей; I – поток массы азота на поверхность пузыря; H_M – уровень расплава в ковше.

Величины (\dot{m} , m_0 , I , U) зависят от времени продувки. Величина τ – в функции параметров процесса при фиксированном ε входит в пределы интегрирования. Итак,

ставится задача определения времени продувки, которое необходимо для достижения ε . Уравнение (1) позволяет избежать процедуры осреднения величин (I , U) [3] по объему нейзотермического расплава и последовательно проводить расчет потока массы атомов азота на поверхность пузырей аргона по мере их всплывания.

Сложность реализации уравнения (1) связана с изменением режимов всплывания пузырей аргона вследствие увеличения их объема в процессе подъема.

Пусть в момент $\tau = 0$ начинается заполнение ковша жидким металлом. При $\tau \geq \tau_0$ расплав продувается инертным газом. Поверхность металла с момента $\tau = 0$ покрыто слоем синтетического шлака, предохраняющего расплав от переохлаждения и перехода в него газа из атмосферы. Высота металла в ковше в зависимости от времени определяется как:

$$H_m(\tau) = \begin{cases} \left(\frac{\dot{m}_M}{\rho_M S} \right) \tau, & 0 \leq \tau \leq \tau_{\text{вып}}, \\ H_0 = \text{const}, & \tau > \tau_{\text{вып}} \end{cases}$$

где ρ_M , \dot{m}_M – плотность и массовый секундный расход металла в ковше; S – площадь его днища; $\tau_{\text{вып}}$ – время выпуска металла из печи в ковше; $H_0 = H_M(\tau_{\text{вып}})$.

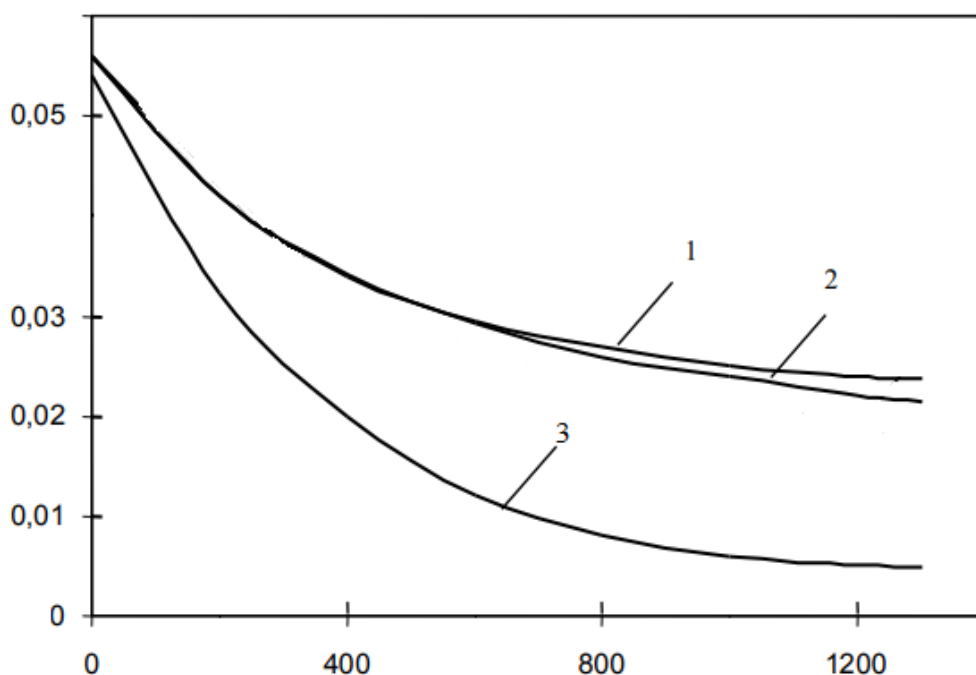


Рис. 1. Зависимость содержания азота в расплаве от времени продувки

Допущения, используемые при разработке математической модели процессов тепломассопереноса, являются общепринятыми [3]:

- а) концентрация азота по объему расплава вследствие перемешивающего действия газовых пузырей однородна;
- б) на межфазных границах газ – металл имеет место термодинамическое равновесие;
- в) смесь газов в пузырях аргона идеальная (в термодинамическом смысле);
- г) перенос газов из атмосферы в металл отсутствует;
- д) шлак проницаем для всплывающих пузырей аргона.

На рисунке 1 показано сравнение результатов расчета на основе разработанной математической модели с данными исследований [4] при дегазации жидкого железа от азота пузырями аргона в присутствии поверхностно-активных элементов. Сравнение кривых для лабораторных 1 и расчетных 2 результатов свидетельствует об их согласовании. Качественное поведение кривых идентично. Количественное расхождение, не превышающее 5%, объясняется отклонением системы железо – азот от термодинамического равновесия, положенного в основу разработки математической модели. Кривая 3 – суть результата компьютерного моделирования при допущении отсутствия в расплаве поверхностно-активных элементов (ПАЭ). Как следует из сопоставления кривых, учет адсорбции ПАЭ поверхностями пузырей аргона дает результат, который значительно лучше согласуется с экспериментальными данными.

Адекватность разработанной математической модели эксперименту дополняется качественным совпадением кривых работы [5], полученными на лабораторной установке.

На этой установке по очищению воды от растворенного хлора пузырями воздуха подтверждено расчетное наличие энергоресурсосберегающей интенсивности продувки, выше которой эффективность диффузионного теплопереноса хлора в пузыри воздуха снижается. Снижение интенсивности продувки до уровня оптимального значения – фактор экономии этого энергоносителя.

На рисунке 2 построен график зависимости содержания азота в расплаве железа от времени продувки после выпуска в ковш расплава из печи. Кривые 1 – 3 соответствуют различным концентрациям ПАЭ в ванне. Из этого графика следует, что при продолжении продувки на оптимальной интенсивности после момента $\tau = \tau_{\text{вып}}$ можно добиться большего снижения концентрации азота. Однако эффективность диффузионного процесса при $\tau > \tau_{\text{вып}}$ уменьшается. Это находится в качественном согласии с данными, по которым эффективность возрастает с ростом концентрации газа и уменьшается при ее понижении [6]. Из рисунка видно, что с увеличением концентрации ПАЭ кривая лежит выше. Это связано с адсорбцией поверхностно-активного элемента на пузырьковой поверхности и блокированием ее части для теплопереноса удаляемого азота через границу раздела фаз. Повышение концентрации ПАЭ приводит к увеличению площади блокирования, что и влечет за собой снижение ε [7, 8].

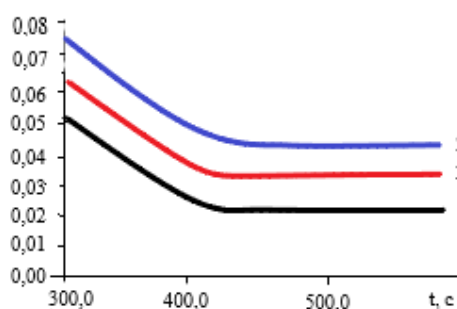


Рис. 2. Зависимость концентрации азота в расплаве железа от времени продувки
[O] = 0,03%; [C] = 0,00%; 1 – [S] = 0,01%; 2 – [S] = 0,03%; 3 – [S] = 0,05%

Для моделирования процесса теплопереноса принято, что поверхностно-активными элементами в расплаве железа являются кислород [O] и сера [S], а содержание углерода [C] отсутствует.

Нижняя кривая (рисунок 2) ограничивается концентрацией азота [N] = 0,01 %. При этой концентрации завершается, по данным работы [9], лимитирование теплопереноса азота в расплаве железа конвективной диффузией атомов азота в

пузыри аргона. Для более низких концентраций лимитирование тепломассопереноса азота в расплаве в силу прочности его молекул реализуется актом молизации: $2[\text{N}] = \{\text{N}_2\}$, т.е. объединением двух атомов азота в нейтральную молекулу. Она, отрываясь от поверхности «металл-вакуум» в условиях вакуумирования, удаляется в вакуум-камеру.

Если массоперенос атомов азота в металле лимитируется реакцией молизации на межфазной поверхности, то [10]:

$$\frac{dc}{d\tau} = -\left(\frac{F}{V}\right)k_0c^2. \quad (2)$$

Знак минус означает уменьшение со временем средней по объему концентрации в нем азота ($dc/d\tau < 0$).

Выделение азота из жидкой ванны происходит как в пузыри аргона, так и через поверхность «вакуум-металл». Интегрируя уравнение (2), получим:

$$\frac{1}{c(\tau)} - \frac{1}{c_0} = \left[\left(\frac{F_{Ar}}{F_0}\right)k_{0,Ar} + \left(\frac{F_E}{F_0}\right)k_{0,E} \right] \cdot \frac{\tau}{H}.$$

Здесь c_0 – начальная концентрация азота в расплаве; F_{Ar} , F_0 , F_E – площади поверхностей «аргон-металл», «вакуум-металл» и части F_0 для сгустка ионов азота [1], $k_{0,Ar}$, $k_{0,E}$ – константы скорости реакции молизации.

В этом уравнении:

$$V = F_0H_0.$$

Константы скорости реакции молизации трудно поддаются теоретическому расчету и поэтому определяются экспериментально в конкретных условиях [11]. Следуя известной классификации [12], математическая модель, на основе которой исследуется процесс тепломассопереноса атомов азота в расплаве, относится к смешанному типу.

Значение параметра F_{Ar} зависит от интенсивности продувки расплава аргоном и диаметра пор продувочного устройства.

Параметр F_E определяется напряженностью внешнего поля и степенью ионизации атомов азота в поверхностном слое поверхности «вакуум-металл» [1].

Исследуем возможность выполнения равенства:

$$F_{Ar}k_{0,Ar} = F_Ek_{0,E},$$

которое запишем в виде:

$$\frac{k_{0,E}}{k_{0,Ar}} = \frac{F_{Ar}}{F_E}.$$

При интенсивной продувке металла аргоном [13]:

$$F_{Ar} \gg F_E.$$

Возможно ли выполнение неравенства:

$$k_{0,E} \gg k_{0,Ar}^2. \quad (3)$$

Величина суммарной площади F_{Ar} поверхности пузырьков аргона при интенсивной продувке расплава в 10 и более раз превышает площадь F_E [13].

Скорость реакции молизации прямо пропорциональна квадрату концентрации атомов удаляемого газа из расплава железа на поверхности «вакуум-металл» [11].

Увеличивая напряженность внешнего поля ($E < E_{кр}$) и концентрацию ионов азота в ступке, можно добиться их концентрации такой величины (в расплавах тугоплавких металлов с высокой степенью ионизации атомов азота), возведение во вторую степень которой, реализует выполнение неравенства (3).

В этих условиях процесс дегазации жидкого металла практически блокируются. И только подключение внешнего воздействия на поверхность «вакуум-металл» (электростатическое поле внутрь объема жидкой ванны не проникает) обеспечит продолжение дегазации расплава до более низких значений концентрации азота.

Учитывая квадратичную зависимость константы скорости реакции молизации: $2[N] = \{N_2\}$ от концентрации атомов азота на межфазных поверхностях «аргон-металл» и «вакуум-металл», можно записать:

$$k_{0,Ar} = \gamma_1 [N]_{n,Ar}^2 = \gamma_1 k_N^2 P_{N_2}^{Ar}. \quad (4)$$

$$k_{0,E} = \gamma_2 [N]_{n,V}^2 = \gamma_2 k_N^2 P_{N_2}^E [(1-i) + i\phi(r)]^2. \quad (5)$$

Здесь: $[N]_{n,Ar}, [N]_{n,V}$ – концентрации атомов азота на этих поверхностях; $P_{N_2}^{Ar}, P_{N_2}^E$ – парциальное давление азота в пузырях аргона и вакуум-камере, γ_1, γ_2 – константы.

Учитывая, что γ_1 и γ_2 характеризуют идентичную реакцию молизации при практически одинаковой температуре металла в рассматриваемом приближении принимаем: $\gamma_1 = \gamma_2$.

Разделив уравнение (5) на (4), имеем:

$$k_{0,E} = k_{0,Ar} \left(\frac{P_{N_2}^E}{P_{N_2}^{Ar}} \right) [(1-i) + i\epsilon(r)]^2.$$

Для расплава железа в соответствии с работой [10]:

$$k_{0,Ar} = \frac{0,9745}{1 + 28,4[O] + 5,34[S]}.$$

На рисунке 3 показана, полученная на основе моделирования, зависимость концентрации азота в металле от времени его комплексной обработки продувкой аргоном и электростатическим полем докритической напряженности в области молизационного лимитирования тепломассопереноса атомов азота в жидкой ванне.

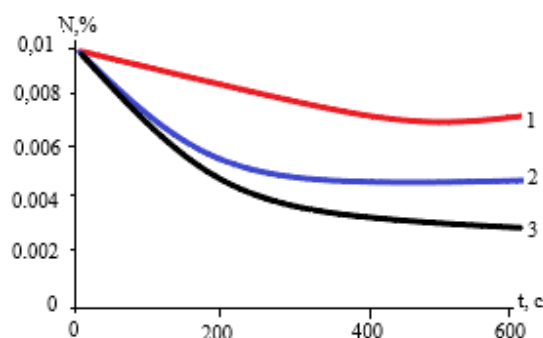


Рис. 3. Зависимость концентрации азота в железе от времени его обработки и степени ионизации атомов азота $\frac{F_{Ar}}{F_0} = 10; \frac{F_E}{F_0} = 0,25; [N]_0 = 0,01\%; H=1,0м; [O]=0,03\%; [S]=0,03\%; E=0,1$ МВ/м;

$$P_{N_2}^{V,Ac} = P_{N_2}^{Ar}; 1 - i=0,25; 2 - i=0,50; 3 - i=0,75$$

Выводы. Итак, увеличение степени ионизации атомов в расплаве позволяет добиться более низких значений концентрации азота в жидкой ванне, что необходимо для получения металла ответственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров Н. И. К вопросу о постановке граничного условия для уравнения массопереноса азота в металле при одновременном воздействии на расплав вакуума и электростатического поля докритических напряженностей / Н. И. Захаров, А. Б. Бирюков, И. В. Тупилко // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2018. – № 1. – С. 26-29.
2. Фромм Е. Газы и углерод в металлах / Е. Фромм, Е. Гебхардт. – Москва : Металлургия, 1980. – 712 с.
3. Захаров Н. И. Математическое моделирование процессов массопереноса при внепечной дегазации металла всплывающими пузырями инертного газа. / Н. И. Захаров, Ф. В. Недопёкин, А. И. Троцан // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т. 78. – № 3. – С. 68–71.
4. Masamitsu T. Rate of nitrogen desorption the molten iron by argon flowing / T. Masamitsu, M. Hiromu, S. Masamichi // The Iron and Steel Institute of Japan. – 1986. – Vol. 72. – № 3. – P. 419–423.
5. Захаров Н. И. Физическая модель диффузионного взаимодействия пузырей аргона с металлом / Н. И. Захаров, И. В. Волкова // Инженерно-физический журнал. – 2017. – Т. 90. – № 4. – С. 1036–1039.
6. Баканов К. П. Рафинирование стали инертным газом / К. П. Баканов, И. Л. Бармотин, Н. Н. Власов [и др.] / под редакцией А. Ф. Каблуковского. – Москва : Металлургия, 1975. – 232 с.
7. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика / В. Г. Левич / редакция А. Н. Фрумкин : Академия наук СССР, Институт физической химии. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1952. – 537 с.
8. Линчевский Б. В. Термодинамика и кинетика взаимодействия газов с жидкими металлами / Б. В. Линчевский. – Москва : Металлургия, 1986. – 167 с.
9. Kazuo A. Kinetic of nitrogen desorption the molten iron / A. Kazuo, I. Koin, S. Hiroshi // The Iron and Steel Institute of Japan. – 1976. – Vol. 62. – № 9. – P. 1179–1188.
10. Shizo B. Rate of nitrogen desorption the molten iron / B. Shizo, S. Tadahiro, T. Hideo // The Iron and Steel Institute of Japan. – 1974. – Vol. 6. – № 10. – P. 1443–1453.
11. Явойский А. В. Кинетические особенности дегазации расплавов на основе железа / А. В. Явойский, В. И. Явойский, С. П. Терзник // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1981. – № 7. – С. 5–8.
12. Захаров Н. И. Математические модели и методы численного моделирования теплофизических процессов / Н. И. Захаров, С. В. Гридин. – Донецк : Цифровая типография, 2017. – 192 с.
13. Захаров Н. И. Энергоресурсосбережение при рафинировании жидкого металла от газов : монография / Н. И. Захаров, А. А. Троянский, А. И. Троцан. – Мариуполь : ПГТУ, 2015. – 189 с.

Поступила в редакцию 12.04.2021 г.

ENERGY SAVING DURING INTENSIFICATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES UNDER CONDITIONS OF LIQUID METAL DEGASSING FROM NITROGEN DISSOLVED THEREIN

Zakharov N.I., Tupilko I.V.

The processes of nitrogen mass transfer in liquid metal in which nitrogen is soluble are investigated, when the melt is nitrated in the following process chain: a) metal discharge from the furnace into a ladle with a porous bottom, through which the melt is blown by argon under a layer of slag; b) continuation of blowing after ladle filling with metal; c) complex effect on the metal. It is justified that the study of heat and mass transfer processes and the choice of rational parameters of the technology is a step towards increasing the productivity of off-furnace metal processing from the position of energy saving.

Keywords: energy saving, heat and mass transfer, liquid metal, nitrogen, mathematical model.

Захаров Николай Иванович

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры технической теплофизики
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический
университет»,
ДНР, г. Донецк.

Zakharov Nikolai Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor at
Department of Technical Thermophysics of Donetsk
National Technical University,
DPR, Donetsk.

Тупилко Ирина Владимировна

аспирант кафедры технической теплофизики
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический
университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: irishhka89@gmail.com

Tupilko Irina Vladimirovna

Postgraduate student at Department of Technical
Thermophysics of Donetsk National Technical
University,
DPR, Donetsk.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 532.542.4: 502.36

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

© 2021 *Симоненко А.П., Собко А.Ю.*

В настоящей обзорной статье впервые систематизированы результаты многолетних экспериментальных исследований Донецкого национального университета (ДонНУ) по применению водорастворимых полимерных композиций (ВПК), на основе высокомолекулярных полимеров (ВМП), для решения экологических проблем крупных свиноводческих комплексов (КСК). Показано, что использование ВПК позволяет: уменьшить выделение вредных и дурно-пахнущих газов из разлагающегося навоза, усовершенствовать технологию реагент-ной очистки навозных стоков от твердых примесей, создать основы эффективной технологии пылеподавления в животноводческих помещениях и на близлежащих к КСК территориях. Особое внимание в статье уделено применению гидродинамически-активных ВПК для снижения гидравлических потерь (уменьшения энергозатрат) при эксплуатации используемых на КСК гидравлических систем, а также утилизации отходов животноводства.

Ключевые слова: свиноводческие комплексы, экологическая безопасность, энергосбережение, утилизация отходов.

Загрязнение воздушной среды газами разлагающегося навоза. В воздухе животноводческих помещений, особенно с подпольными накопителями навозных стоков, выявлено около 30 различных вредных газов, среди которых в первую очередь следует выделить: аммиак, сероводород, меркаптаны, метан и др., которые влияют на здоровье обслуживающего персонала, снижают продуктивность животных. По мнению специалистов животноводства, продуктивность животных на 50–60% определяется кормами, на 15-20% уходом и на 10-30% микроклиматом в животноводческих помещениях. Отклонение параметров микроклимата от установленных санитарных норм приводит к уменьшению прироста живой массы на 20-35%, увеличению падежа молодняка до 5-40%, снижению устойчивости животных к заболеваниям, дополнительному расходу кормов, сокращению срока службы оборудования, машин и самих зданий [1-3].

На крупных свиноводческих комплексах (КСК) технология содержания животных исключает возможность герметизации основного производственного процесса. Поэтому в воздухе помещений для содержания свиней накапливаются вредные и дурно-пахнущие газовые примеси (запах животных, выдыхаемые и клоачные газы), а также газы, которые выделяются в процессе разложения, гниения и брожения экскрементов, остатков кормов и подстилки. Так, например, свиноводческий комплекс мощностью 108 тыс. голов в год выбрасывает в атмосферу каждый час 1,5 млрд. микробных тел, 159 кг аммиака, 14,5 кг сероводорода, 25,9 кг пыли [1].

Кроме этого следует отметить, что вредные и дурно-пахнущие газы весьма опасны для людей, которые работают в животноводческих помещениях. Из таких газов особо следует выделить аммиак. Это связано с тем, что диоксид углерода и сероводород, имеющие большой удельный вес, в основном накапливаются внизу (до 0,5 м от пола) — в зоне размещения животных, а также в навозосборниках. В тоже время аммиак, как более легкий газ, находится в верхней зоне помещений (1,5 м от пола и выше). По природе своего действия на организм человека аммиак относится к удушающим (из группы хлора) газам, но в отличие от них вызывает более ярко выраженную воспалительно-некротическую патологию. Аммиак, смешиваясь с водой, образует щелочь, которая вызывает химические ожоги слизистых оболочек и кожи. При непрерывном и длительном воздействии аммиака, с повышенной его концентрацией в воздухе, ухудшается общее состояние организма, наблюдается снижение уровней гемоглобина и эритроцитов в крови, а также ухудшение функции пищеварительного тракта.

Оценка риска при загрязнении воздуха аммиаком. Проведенные в настоящей работе предварительные исследования показали, что в воздухе животноводческих помещений содержание аммиака может в десятки раз превышать предельно-допустимую концентрацию (ПДК) [4].

Аммиак относится к неканцерогенным веществам. Международная методология оценки риска предусматривает, что для неканцерогенных веществ и канцерогенов негенотоксического действия предусматривается наличие пороговых уровней, ниже которых вредные эффекты не возникают.

Для характеристики риска развития неканцерогенных эффектов устанавливаются уровни минимального риска - референтные дозы (RfD) и референтные концентрации (RfC). При отсутствии показателей референтных доз и концентраций можно использовать предельно допустимые концентрации (ПДК). Превышение референтной дозы не обязательно связано с развитием вредного эффекта, но чем выше доза влияния и чем больше она превышает референтную, тем больше вероятность его возникновения.

В таблице 1 приведены основные нормированные характеристики содержания аммиака в воздухе.

Таблица 1. Безопасный уровень воздействия и ПДК для аммиака в воздушной среде

Название вещества	ПДК _{с.с.} , мг/м ³	ПДК _{р.з.} , мг/м ³	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	RfC при ингаляционных воздействиях, мг/м ³	
				хронических	кратковременных
Аммиак (NH ₃)	0,04	20	0,2	0,1	0,35

Здесь ПДК_{с.с.}, ПДК_{р.з.}, ПДК_{м.р.} - предельно-допустимые концентрации: среднесуточная, в рабочей зоне, максимально-разовая, соответственно.

Оценку риска развития неканцерогенных эффектов осуществляют путем сравнения фактических уровней экспозиции с безопасными (референтными) уровнями влияния и определением коэффициента опасности:

$$HQ = AD/RfD,$$

$$HC = AC/RfC,$$

где HQ - коэффициент опасности; AD - средняя доза, мг/кг; AC – средняя концентрация, мг/м³; RfD - референтная доза, мг/кг; RfC- референтная концентрация, мг/м³.

В случае отсутствия референтных доз, как эквивалент можно использовать граничные допустимые концентрации или концентрации, которые установлены по критерию прямого эффекта на здоровье.

В соответствии с методикой оценки риска, при ингаляционном воздействии вещества из атмосферного воздуха, среднесуточная доза (AD) определяется по формуле:

$$AD = (((Ca \cdot Tout \cdot Vout) + (Ch \cdot Tin \cdot Vin)) \cdot EF \cdot ED) / (BW \cdot AT \cdot 365),$$

где AD - среднесуточная доза вещества, мг/кг-сутки; Ca - концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м³; Ch - концентрация вещества в воздухе помещения, мг/м³; Tout - время, проводимое человеком вне помещения, ч/сутки; Tin - время, проводимое в помещении, ч/сутки; Vout - скорость дыхания вне помещения, м³/ч; Vin - скорость дыхания в помещении, м³/ч; EF - частота воздействия, дней/год; ED - длительность воздействия, лет; BW - масса тела, кг; AT - период осреднения экспозиции, лет; 365 - число дней в году [3].

На основе анализа работ [4, 5] и с использованием данных, полученных в результате обследования производственных помещений агрокомбината «Угледорский» (в настоящее время свинокомплекс «Бахмутский аграрный союз»), для проведения расчетов были определены значения концентраций аммиака: Ca = 0,2 мг/м³ (в пределах санитарно-защитной зоны), Ch = 15 мг/м³. Значения остальных параметров были выбраны для взрослого мужчины при условии продолжительности его рабочего дня 8 часов и стаже работы 10 лет.

В результате расчета было получено, что значение среднесуточной дозы аммиака AD = 2,37 мг/м³, а референтная суточная доза: RfD = 0,02 мг/м³.

Используя полученные значения AD и RfD определим величину коэффициента опасности для аммиака в свиноводческих помещениях:

$$HQ = 2,37 / 0,02 = 118,5.$$

Полученное значение коэффициента опасности соответствует очень высокой степени риска при ингаляционном воздействии аммиака на организм человека и требует принятия безотлагательных мер по улучшению микроклимата в обследованных животноводческих помещениях.

Композиция для обработки навоза. В целях уменьшения загрязнения атмосферного воздуха, а также распространения вредных газов и неприятных запахов от КСК в настоящее время используется комплекс различных методов, которые можно свести к трем основным направлениям: эффективное удаление, утилизация и хранение отходов; обработка навоза, с целью уменьшения выделения из него вредных газов; вентиляция животноводческих помещений и очистка воздуха. При этом следует заметить, что особое внимание исследователей данной проблемы связано с разработкой новых технологий в основе которых лежит обработка навоза химическими реагентами. Преимущества этого способа, по сравнению с биологической обработкой и использованием физических методов и механических средств, заключается в простоте реализации, дешевизне и достижении желаемого результата за малые промежутки времени.

Многочисленными исследованиями различных авторов установлено, что большинство химических методов основано на том, что химические реагенты вступают в реакцию с веществами, которые содержатся в навозе, связывая или разлагая их. Это уменьшает или предотвращает выделение вредных газовых загрязнений и запахов в окружающую среду. Кроме этого, некоторые реагенты уничтожают бактерии, в том

числе и те, которые вызывают гнилостные анаэробные процессы, сопровождающиеся выделением аммиака, сероводорода, меркаптанов и др. вредных газов в окружающую среду.

В ходе предварительных исследований авторами настоящей статьи было установлено, что на скорость биохимических реакций разложения, находящихся в воде (или смоченных водой) органических отходов, в том числе и навоза, эффективно влияют микродобавки высокомолекулярных полимеров – полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА) [5]. В основе этого воздействия, вероятно, лежит образование на поверхности разлагающихся частиц навоза адсорбционного слоя из макромолекул ПЭО и ПАА.

Такой слой препятствует распаду крупных частиц навоза на мелкие и, как следствие этого, предотвращает увеличение поверхности частиц на которой протекает биохимическая реакция, сопровождающаяся выделением вредных и дурно-пахнущих газов.

Экспериментальные исследования проводились с использованием образцов навозных стоков совхоза-комбината «Угледорский», Донецкая обл. (в настоящее время это свинокомплекс «Бахмутский аграрный союз»). В основу исследований было положено измерение давления над образцами навозных стоков (до и после введения микродобавок полимеров) в закрытых емкостях. При этом предполагалось, что увеличение давления, в частично заполненной навозным стоком емкости, пропорционально скорости биохимической реакции и объему выделившихся в процессе ее протекания вредных и дурно-пахнущих газов.

В ходе эксперимента, в емкости объемом 750 мл загружали по 400 мл свиной навозной жижи. В эти же емкости (кроме одной контрольной) вводили микродобавки высокомолекулярных полимеров – полиэтиленоксида, полиакриламида и их смеси в количестве (1,5-3,0) мг на один литр навозного стока. Через определенные промежутки времени, с помощью дифференциальных манометров, измеряли разность ΔP между давлением в емкости и атмосферным давлением. Эта разность зависит от интенсивности биохимической реакции разложения навоза. По полученным экспериментальным данным строили кривую зависимости ΔP от времени протекания биохимической реакции τ . Величину избыточного давления в сосуде, обусловленного биоразложением органических веществ, можно записать в виде: $\Delta P = c w \Delta t$, где w - скорость биохимической реакции, Δt – промежуток времени за который давление в сосуде увеличивается на величину ΔP , c – постоянная. Отсюда легко определить скорость биохимической реакции как тангенс угла наклона касательной к кривой $\Delta P = f(\tau)$. Данные экспериментальных исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2. Зависимость избыточного давления ΔP в герметически закрытых емкостях от времени τ протекания биохимической реакции разложения свиного навоза в воде, водных растворах ПЭО, ПАА и их смеси

№ п/п	Используемая жидкость	Время выдержки образцов τ , мин									
		20	60	100	140	180	220	260	300	340	380
		Величина избыточного давления ΔP , см. водного столба									
1	Вода	16	38	59	75	87	98	107	114	122	128
2	Водный раствор ПЭО (концентрации 2,5 мг/л)	11	15	18	20	20	20	20	20	20	20
3	Водный раствор ПАА (2,5 мг/л)	10	16	25	30	34	40	44	48	53	55
4	Водный раствор смеси ПЭО и ПАА (1,5 мг/л и 1,5 мг/л)	10	14	23	28	32	37	40	45	47	49

Из приведенных данных видно, что для всех образцов, содержащих микродобавки полимеров, давление над навозной жижой, за счет выделения в ходе биохимической реакции газов, значительно меньше по сравнению с контрольным образцом, который характеризует разложение навоза в воде. Так, например, на 60 минуте давление в емкости, за счет разложения навоза в воде (эксперимент № 1), составляет 38 см водяного столба. В тоже время при разложении навоза с добавкой 2,5 мг ПЭО на 1л стока (эксперимент № 2) выделяемые газы создали давление в емкости равное 15 см водяного столба, что в 2,5 раза меньше. С течением времени скорость разложения навоза в воде продолжает интенсивно нарастать – на 140 минуте давление в сосуде становится равным 75 см водяного столба. В тоже время, для стока, обработанного ПЭО, давление составило 20 см водяного столба. Дальнейшее увеличение времени выдержки исследуемых образцов до 380 минут показало, что в стоке с ПЭО давление осталось без изменений – 20 см водяного столба, а разложение навоза в воде привело к увеличению давления до 128 см водяного столба. Аналогичные данные получены для водных растворов ПАА и смеси ПАА с ПЭО (эксперименты №3 и №4). При этом установлено, что эффективность этих составов в 2-3 раза меньше по сравнению с добавкой одного полиэтиленоксида.

Проверка эффективности воздействия добавок ПЭО на биохимическую реакцию разложения навоза во времени показала, что она сохранялась при содержании полимера (2,5 мг на 1 л стока) в течении 6 суток (в ходе проведения эксперимента).

Дальнейшие исследования были направлены на разработку состава и основ технологии приготовления композиции для обработки навозных стоков за счет введения в нее химических веществ, которые, наряду с высокомолекулярными ПЭО, также уменьшают скорость биохимической реакции разложения навоза. Кроме этого такая композиция должна характеризоваться высокой скоростью растворения ПЭО, легко дозироваться с целью обеспечения оптимальных концентраций составных компонентов в растворах, которыми будут заполняться подпольные траншеи – навозонакопители.

Эта задача была решена путем создания жидкой полимерной композиции (ЖПК) в качестве дисперсной фазы которой использовался тонкодисперсный (с размером частиц до 360 мкм) порошок ПЭО, с молекулярной массой $(4,2-6,0) \cdot 10^6$, а в качестве дисперсионной среды – водный раствор едкого натрия при следующем соотношении составных компонентов (в масс.ч): едкий натрий – 0,9; высокомолекулярный ПЭО – (0,0002-0,0005); вода – 100 [6].

Данные результатов экспериментальных исследований разработанной ЖПК, которые были получены по описанной выше методике приведены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние времени выдержки образцов навоза (до и после обработки реагентами) на величину избыточного давления, создаваемого выделением вредных и дурно-пахнущих газов

№ п/п	Испытываемая жидкость	Время выдержки образцов τ , мин									
		20	60	100	140	180	220	260	300	340	380
		Величина избыточного давления ΔP , см водного столба									
1	Вода	16	38	59	75	87	98	107	114	122	128
2	Водный раствор ПЭО (2,5 мг/л)	11	15	18	20	20	20	20	20	20	20
3	Водный раствор едкого натра (9 г/л)	14	22	31	38	43	46	48	50	51	51
4	Водный раствор смеси ПЭО (2,5 мг/л) и едкого натра (9 г/л)	8	10	11	12	12	12	12	12	12	12
5	Водный раствор смеси ПЭО (2,5 мг/л) и едкого натра (4,5 г/л)	9	11	11	11	12	12	12	12	12	12

Из приведенных в таблице 3 данных видно, что ЖПК на основе ПЭО и водного раствора едкого натрия обладают наибольшей эффективностью по уменьшению выделения вредных и дурно-пахнущих газов из навозного стока КСК.

Очистка навозных стоков от твердых примесей [7, 8-13]. На ряду с созданием нормального микроклимата в животноводческих помещениях и защитой атмосферного воздуха от загрязнений к экологическим проблемам крупных животноводческих комплексов следует отнести очистку навозных стоков от твердых примесей. Обычно на таких объектах удаление навоза производят гидросмывом, т. к. в отличие от других известных способов он отличается простотой, пониженной трудоемкостью, эффективен в санитарном отношении. Однако, в процессе гидросмыва образуется очень большое количество высококонцентрированных, трудноокисляемых, биологически активных стоков. На животноводческом комплексе при выращивании 108 тыс. свиней в год образуется свыше 1 млн. м³ навозных стоков, которые представляют значительную угрозу окружающей среде. Такие стоки имеют слабощелочную или нейтральную реакцию, являются сложными дисперсными системами, их прозрачность близка к нулю, содержание взвешенных веществ лежит в пределах (6-15) г/л, биологическое потребление кислорода (БПК₅) может достигать 24 г O₂/л.

В качестве примера в таблице 4 приведен фракционный состав (в вес. %) твердых включений свиного навоза, образующегося при кормлении свиней кормами заводского производства и приготовленными непосредственно в хозяйстве.

Таблица 4. Фракционный состав твердых включений свиного навоза

№ п/п	Размер частиц, мм	Содержание частиц в навозном стоке (вес.%) при кормлении свиней кормами	
		Заводского производства	Приготовленными в хозяйстве
1	0,5-0,1	14,9	8,0
2	0,1-0,5	25,0	19,8
3	0,5-1,0	23,3	14,5
4	1,0-2,0	17,8	29,8
5	2,0-5,0	12,0	21,4
6	Больше 5,0	7,0	6,5

Из приведенных данных видно, что в навозе содержится очень большое количество частиц с размерами до 1,0 мм. Так при кормлении свиней кормами заводского производства их содержание в среднем равно 63%. В случае, когда животные питаются кормами, приготовленными непосредственно в хозяйстве, содержание частиц такой фракции меньше 42%. Следует также отметить, что в обоих случаях навозные стоки образуют седиментационно и агрегативно устойчивые дисперсии.

Очистку таких сточных вод от взвешенных частиц можно проводить с применением специальных химических веществ (реагентов) – коагулянтов и флокулянтов, т.к. их действие связано с изменением агрегативной устойчивости стоков и образованием из грубодисперсных и коллоидных загрязнений крупных (с повышенной плотностью) быстрооседающих хлопьев и флокул.

В связи со строительством крупных животноводческих комплексов возникает и приобретает все большую остроту проблема уборки и утилизации жидкого навоза, объемы которого из года в год возрастают. При этом следует заметить, что такой навоз имеет влажность до 98%.

Механическую очистку жидкого навоза рекомендуется осуществлять на дуговых ситах и в вертикальных отстойниках. Осадок с дуговых сит и отстойников обезвоживают в специальных бункерах-обезвоживателях и в центрифугах. При этом осадок обеззараживают в буртах, а осветленный сток – в пароструйных аппаратах. Однако, как показывает практика, для реализации такой схемы очистки необходимо создавать специальные инженерные сооружения с последующим оснащением их громоздким и энергоемким оборудованием. Кроме этого, использование этой схемы обработки и утилизации отходов животноводства не обеспечивает очистку жидкой фракции до уровня, позволяющего сбрасывать ее в открытые водоемы или для орошения сельскохозяйственных культур на ограниченных площадях. Такой подход к решению проблемы особенно актуален для регионов с дефицитом использования чистой воды для разбавления навозных стоков, а также высокой стоимостью гидротехнического строительства.

В связи с вышеизложенным, в настоящее время во всех ведущих странах мира проводятся исследования по интенсификации процессов очистки навозных стоков с применением коагулянтов, флокулянтов и их смесей. Введение таких химических соединений в очищаемые жидкости приводит к изменению их агрегативной устойчивости и образованию из грубодисперсных и коллоидных загрязнений крупных, с повышенной плотностью флокул.

В последние годы в процессах очистки промышленных стоков от твердых примесей широкое применение получили флокулянты. При этом наиболее перспективными являются катионактивные флокулянты – водорастворимые полимеры с большой молекулярной массой. Многочисленными исследованиями показано, что катионактивные флокулянты наиболее эффективны при очистке сточных вод, содержащих взвешенные органические примеси, имеющие отрицательный заряд.

Синтез катионактивных флокулянтов в промышленных масштабах связан с большими материальными затратами и для его реализации необходимо иметь соответствующую сырьевую базу. Считается целесообразным получать флокулянты, обладающие катионактивными свойствами, в виде водных растворов из сравнительно дешевых и распространенных полимеров, например, полиакриламида.

В работе [7] приведены результаты исследований по созданию основ технологии и необходимого для ее реализации комплекта оборудования для очистки сточных вод от органических загрязнений с применением модифицированного полиакриламида (МПАА). Однако, наряду с перечисленными ранее преимуществами, получаемый МПАА имеет ряд недостатков. Так, например, получить МПАА можно только в виде (2,0-2,2)% -ных (по активному веществу) водных растворов, водородный показатель которых лежит в пределах $pH=(2,5 - 4)$. При этом следует отметить, что срок хранения такого флокулянта не превышает 5 месяцев.

В связи с этим предлагаемая технология предполагает приготовление МПАА непосредственно на месте его применения. С целью исключения коррозии оборудование, емкости для хранения флокулянта, смесители и трубопроводы, по которым он подается, должны быть изготовлены из нержавеющей стали или их внутренняя поверхность должна быть защищена кислотоупорными покрытиями.

В работе [8] стояла задача расширить границы применения катионактивного МПАА для очистки навозных стоков крупных свиноводческих комплексов, создать основы технологии его приготовления из выпускаемого в отечественной промышленности технического полиакриламида.

Оценка эффективности МПАА, как флокулянта, проводилась в два этапа с использованием стоков свиноводческого комплекса совхоза-комбината «Углегорский». На первом этапе в исходных стоках и в фильтрате, после обработки флокулянтom и фильтрования через сетку №11, определяли содержание взвешенных веществ, а также прозрачность фильтрата. Кроме этого, были определены коэффициент задержания взвешенных частиц при прохождении через сетку и влажность образующегося осадка. Данные по флокулирующей способности МПАА приведены в табл. 5.

Таблица 5. Данные экспериментальных исследований по очистке навозных стоков МПАА

№п/п	Основные характеристики		Экспериментальные данные
1.	Влажность осадка, %	В исходном стоке	98,5
		После обработки флокулянтom и фильтрования	75
2.	Взвешенные вещества, мг/л	В исходном стоке	13000
		В фильтрате после обработки флокулянтom и фильтрования	150
3.	Коэффициент задержания взвешенных частиц, %	В исходном стоке	13
		После обработки флокулянтom и фильтрования	98,5
4.	Прозрачность фильтрата, %	В исходном стоке	0
		После обработки флокулянтom	35

Из приведенных в таблице данных видно, что обработка стока флокулянтom существенно улучшает процесс очистки. Так, например, после обработки стока флокулянтom (при концентрации МПАА 30 г на 1 кг загрязняющих веществ) и фильтрования через сетку № 11 содержание взвешенных веществ уменьшается с 13000 мг/л до 150 мг/л. При этом коэффициент задержания взвешенных частиц увеличивается с 13 % до 98,5 %. Улучшается также такой показатель как влажность образующегося осадка, т.к. в исходном стоке она была равна 98,5%, а после обработки флокулянтom уменьшилась до 75%.

На втором этапе были проведены исследования по определению кинетики седиментации твердых частиц в стоках свиноводческого комплекса до и после обработки флокулянтom, с дозой 30 г МПАА на 1 кг загрязняющих веществ. Результаты экспериментальных данных приведены на рис. 1.

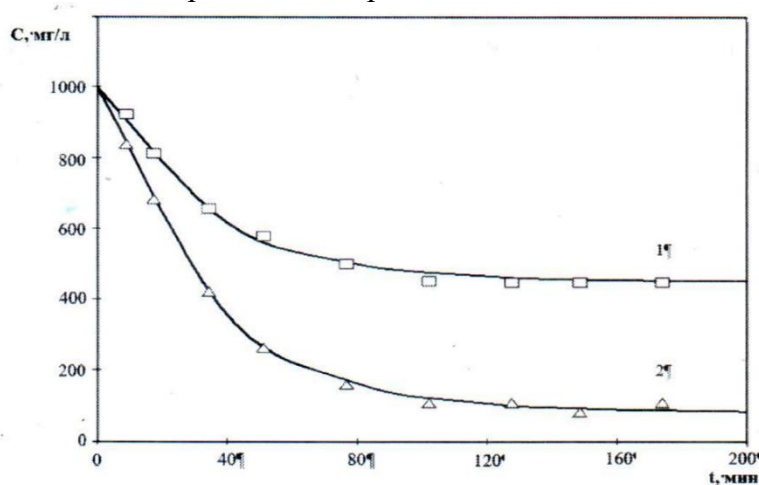


Рис. 1. Кинетика осаждения твердых частиц в стоке свиноводческого комплекса до (кривая 1) и после обработки (кривая 2) с дозой 30 г МПАА на 1 кг загрязняющих веществ

Из приведенных на рис. 1 зависимостей видно, что при отстаивании в течении трех часов в исходном стоке содержание взвешенных частиц уменьшается с 1000 мг/л до 500 мг/л. В тоже время обработка навозного стока флокулянтам, при таком же времени выдержки, уменьшает концентрацию взвешенных частиц до 80 мг/л. Это позволяет значительно улучшить работу существующих очистных сооружений, а также создать новое, более совершенное оборудование для очистки навозных стоков.

Мобильная установка для очистки сточных вод [7, 8, 14]. С учетом результатов проведенных исследований была разработана, изготовлена и в промышленных условиях испытана мобильная установка для реагентной очистки сточных вод, принципиальная схема которой приведена на рис. 2. В состав установки входят: емкость-накопитель загрязненной воды – 1; центробежный насос – 2; задвижка – 3; манометр – 4; расходомер – 5; устройство забора концентрированных растворов флокулянта (пеносмеситель ПС-1) – 6; (6.1. – трубы заборные с пробковыми кранами); емкость с концентрированным раствором флокулянта – 7; проточная кассета-контейнер с флокулянтам – 8; смеситель типа «шашлык» – 9; отстойник-осветлитель – 10; входной патрубком – 11; турбулизирующие сетки – 12; сетки-отбойники – 13; патрубком отвода осадка – 14; наклонный тонкослойный отстойник – 15; желоб и патрубком отвода очищенной воды – 16. Кассета-контейнер 8 применяется для случая использования в качестве флокулянта 8 %-го гелеобразного полиакриламида.

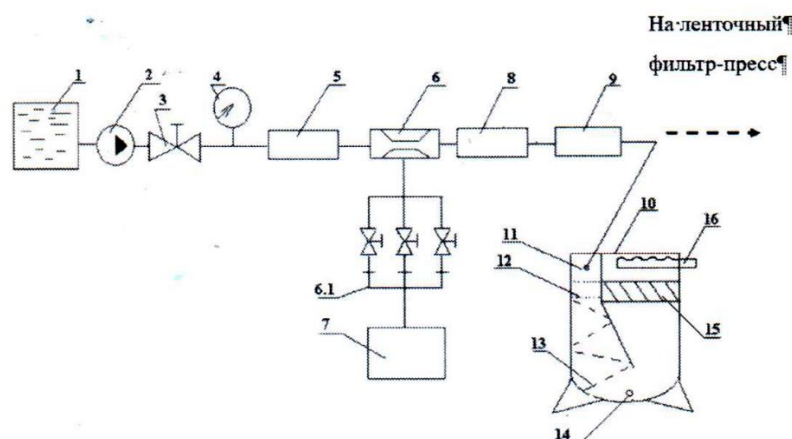


Рис. 2. Принципиальная схема установки для очистки сточных вод

При этом следует отметить, что фрагмент установки, включающий составные элементы 2-9, может использоваться как вспомогательное оборудование для обработки флокулянтами загрязненных стоков, с последующей их очисткой и уплотнением осадка на ленточных фильтр – прессах типа ЛМН – 10, ЛМН – 15 и др.

Одним из основных узлов установки является узел подачи и дозирования концентрированного раствора флокулянта (МПАА), в состав которого входят: пеносмеситель ПС-1, три заборные трубы с пробковыми кранами и калиброванными шайбами, емкость для концентрированного раствора флокулянта. Проверка работоспособности этого узла показала, что он обеспечивает ввод в очищаемую воду необходимого количества флокулянта (концентрированного водного раствора МПАА).

При обработке загрязненной очищаемой воды концентрированным раствором МПАА из емкости 7 кассета – контейнер 8 не используется. При этом следует отметить, что расход маточного раствора может быть изменен за счет установки на всасывающем патрубке калибровочной шайбы другого диаметра или одновременного открытия 2-х или 3-х пробковых кранов.

Обработку загрязненной воды высокомолекулярным флокулянтom можно также проводить с использованием проточных кассет с твердым водорастворимым брикетом (при использовании ПЭО) или кассет-контейнеров с гелеобразным ПАА.

В качестве примера в таблице 6 приведены результаты приготовления растворов для обработки загрязненной воды флокулянтom, которые были получены с использованием одной кассеты, оснащенной контейнером с ПАА в виде 6,3 %-го геля. Расход воды через кассету составлял $6 \text{ м}^3/\text{час}$, температура – $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 6. Зависимость концентрации ПАА во времени в намываемом растворе

τ, мин	4	10	23	31	38	42	47	60
С _{ПАА} , ppm	2,4	2,4	2,2	2,6	2,0	2,2	1,9	1,9

Из таблицы 6 видно, что на протяжении 60 минут, за счет размыва геля, приготавливались $(0,0019 \div 0,0026)\%$ -е растворы полиакриламида. Такого количества ПАА вполне достаточно для очистки промышленных стоков от загрязнений неорганической природы и уплотнения образующегося при этом осадка. Узел обработки очищаемых сточных вод флокулянтom может представлять собой две или даже три последовательно или параллельно подсоединенных кассет-контейнеров. Это позволяет: либо повысить концентрацию флокулянта в очищаемой воде при неизменном расходе, либо увеличить объем очищаемой воды при постоянной концентрации флокулянта.

Для эффективного смешивания реагентов с загрязненной водой можно использовать смесители самых различных конструкций. Однако, как показали результаты испытаний, достаточно эффективным, простым в изготовлении и эффективным в использовании является смеситель типа «шашлык», который представляет собой стержень с закрепленными (через определенные расстояния) пластинами. Течение очищаемых жидкостей через такой смеситель обеспечивают равномерное распределение флокулянта по всему объему при максимальном сохранении его молекулярной массы.

Камера, в которой происходит окончательное перемешивание, образование флокул и отделение образующегося осадка, представляет собой емкость, разделенную перегородками на три зоны и оснащенную турбулизирующими сетками - 12, сетками отбойниками - 13, патрубком отвода шлама - 14, тонкослойным наклонным отстойником - 15, желобом и патрубком отвода осветленной воды - 16 (рис. 2).

Основные требования к конструкции такой камеры – малые скорости потоков (для исключения выноса загрязнений из зоны осветления) и большие времена нахождения обработанной загрязненной воды в камерах хлопьеобразования и отделения осадка. В таблице 7 приведены обобщающие данные для установки, применяемой для очистки шахтных вод: скорости потоков (V , см/с) и времена нахождения (τ , с) обработанной реагентами загрязненной воды в различных рабочих зонах осветления; через S и L обозначены площадь поперечного сечения потока и длина рабочей зоны соответственно. Эксперименты проводились для двух режимов работы установки, когда расход Q очищаемой воды равен 0,15 и 0,3 л/с.

Из приведенных в таблице 7 данных видно, что скорости движения очищаемых жидкостей во всех трех зонах малы. Так, например, в зоне образования хлопьев и флокул, при расходе воды через установку 0,15 л/с, скорость очищаемой жидкости равна 0,08 см/с. В таком режиме течения обработанная реагентом загрязненная вода будет находиться около 750 секунд. В зоне отделения осадка эти показатели соответственно равны 0,045 см/с и 1330 секунд.

Таблица 7. Технические характеристики рабочей камеры водоочистой установки

№ п/п	Рабочая зона	S, см ²	L, см	V, см/с / τ, с	
				Q ₁ =0,15 л/с	Q ₂ =0,3 л/с
1	Дополнительного перемешивания флокулянта	1500	20	0,1 / 200	0,2 / 100
2	Образования хлопьев и флокул	2000	60	0,08 / 750	0,16 / 375
3	Отделения осадка	3750	60	0,045 / 1330	0,09 / 667

Получение биогаза путем анаэробного сбраживания навоза. В последние годы во всем мире значительно возрос практический интерес к технологии анаэробного сбраживания осадков в метантенках с целью получения горючих газов. Зарубежный опыт показывает, что использование газа брожения, как минимум, полностью перекрывает топливно-энергетические затраты на обработку осадка, а на ряде станций аэрации энергия сжигания газа используется для отопления помещений и получения электроэнергии.

Сбраживание – процесс минерализации органического вещества – применяется для стабилизации осадков, предотвращения их загнивания и получения биогаза.

При сбраживании в анаэробных условиях органическое вещество распадается с образованием основных конечных продуктов – метана (СН₄) и двуокиси углерода (СО₂). Условно принято, что распад происходит в две фазы: 1) гидролиз сложных органических веществ, в результате которого образуются жирные кислоты, спирты, альдегиды и др.; 2) превращение этих промежуточных веществ в метан, уголекислоту, а также бикарбонатные и карбонатные соли.

В связи с тем, что каждый органический компонент выделяет разное количество биогаза, а состав органических осадков в сточных водах различен, то следовательно, от каждого осадка будет получено разное количество газа. Газы в основном образуются из углеводов, жиров и белков, которые составляют (80-85%) общего количества органического вещества осадков. Наибольшее количество газов образуется при распаде жиров.

Теоретически распад беззольного вещества и выход газа можно определить по известным формулам. Фактический распад беззольного вещества и выход газа в большей степени зависят от химического состава сбраживаемого осадка и выбранного режима сбраживания: термофильного и мезофильного.

Процесс сбраживания зависит от температуры, дозы загрузки и влажности осадка, между которыми существует прямолинейная зависимость, сохраняющаяся до определенных доз загрузки. Максимальные дозы загрузки, возможные при данной температуре, и методика расчета метантенков приведены в СНиП.

При сбраживании осадков распад органического вещества составляет (25-53%), соответственно уменьшается количество сухого вещества осадков (до 30%) и повышается их влажность (на 1,4-1,6%). Выход газа, в зависимости от химического состава сбраживаемой смеси осадка и активного ила, может колебаться от 5 (а иногда и ниже) до 22 м³ на 1 м³ смеси. Например, опыты, проведенные на Курьяновской станции аэрации, показали, что при сбраживании смеси выход газа составил (11,4-13,2) м³ на 1 м³ смеси (570 л на 1 кг беззольного вещества); при сбраживании одного осадка из первичных отстойников он достигал 22 м³, а из одного активного ила снижался до 6,1 м³.

Процесс сбраживания характеризуется составом и объемом выделяющегося газа, щелочностью иловой воды и процентом распада органических веществ осадка. Газ имеет следующий состав, % : метан – (60-70); двуокись углерода – (16-34); азот (0-3);

водород – (0-3); кислород – 0,4; окись углерода – (2-4). При нормально протекающем процессе мета-нового сбраживания иловая вода имеет $pH > 7$ и щелочность (65-90) мг•экв/л, содержание аммонийного азота составляет (400-820) мг/л и жирных кислот до (4-10) мг•экв/л. Оба режима сбраживания осадков – мезофильный (33°C) и термофильный (53°C) получили достаточно широкое применение. Последний имеет преимущества в санитарном отношении, так как обеспечивает дегильминтизацию осадка. Кроме того, поскольку дозы загрузки при термофильном режиме примерно в 2 раза больше, чем при мезофильном, то появляется возможность сократить объемы метантенков, а следовательно, и капитальные затраты на их строительство.

Газ из метантенков выделяется неравномерно, поэтому для его сбора, хранения и последующего использования применяются газгольдеры. Теплотворная способность газа в среднем составляет 21 МДж•м³. При этом установлено, что теплотворная способность газа при термофильном сбраживании на (2-5)% ниже, чем при мезофильном.

Анализ результатов многочисленных литературных источников по выделению биогаза из навоза сельскохозяйственных животных показал, что из одной тонны овечьего навоза можно получить 59,4 куб.м метана, из свиного навоза с подстилкой – 44,6 куб.м, а из жидкого свиного навоза – 12,24 куб.м. При этом, для сравнения, свежий куриный помет может выделить 65,0 м этого горючего газа.

Использование биогаза уменьшает загрязнение воздушной среды и обеспечивает сокращение предприятиями по очистке сточных вод потребления топлива и энергии от городских теплоэлектростанций.

С учетом технико-экономических показателей мезофильное сбраживание осадков в метантенках экономически целесообразно для средних и крупных станций аэрации. В этом случае, при рациональном использовании газа, можно не только обеспечить процесс сбраживания осадка, но и покрыть часть энергетических затрат станции (например, потребность в тепле для обезвреживания осадка или его термической сушки после обезвоживания).

Смесь газа с воздухом взрывоопасна, поэтому метантенки и их оборудование должны выполняться во взрывобезопасном исполнении, а при ведении работ необходимо строго соблюдать мероприятия по технике безопасности.

Получивший распространение метод метанового сбраживания осадков требует значительны капитальных затрат и технически сложен в практическом осуществлении. Поэтому целесообразность сбраживания осадков должна решаться с учетом как свойств осадков, так и технико-экономических показателей при обязательной утилизации биогаза. Однако, несмотря на это, способ получения метана из навоза и осадков сточных вод является доступным, при использовании совершенных технологий – экономически выгодным, экологически чист и должен получить в ближайшие годы широкое распространение.

Переработка навоза в удобрения. Существует несколько эффективных способов переработки навоза в удобрения: компостирование; микробиологический способ; переработка с использованием личинок мух и червей; разделение жидкой и твердой фракций; композиции из перечисленных выше способов.

В агрономическом почвоведении навоз сельскохозяйственных животных имеет большое значение. В свежем виде он не пригоден для удобрения растений. Только в переработанном виде навоз приобретает полезные качества и становится безопасным.

Утилизация и переработка навоза в удобрения предполагают проведение следующих операций: а) уничтожение опасных микроорганизмов, паразитарных яиц и семян сорняков; б) увеличение содержания азота и химически-активных веществ.

Бесперывное выращивание сельскохозяйственных культур на одном участке приводит к снижению содержания гумуса и деградации почвы. Для обеспечения получения высоких урожаев возникает необходимость вносить в почву органические и минеральные удобрения.

Специалисты подсчитали, что компостируемые традиционным способом отходы животноводства до 75% минерализуются и лишь 25% расходуется на восстановление гумуса. Для решения проблемы такого дисбаланса в слое навозного компоста добавляют гуматы. Гуминовые соединения активируют процесс ферментации в буртах и ускоряют процесс созревания навоза. Гуматы калия и натрия повышают качество получаемых из навоза удобрений, дополнительно обеззараживают его и устраняют неприятный запах. Внесение в почву таких удобрений влияет на рост и развитие растений.

Для получения ферментированного продукта на примере свиного навоза необходимо: выдерживать соотношение органики и гумата в диапазоне от 10:1 до 10:5 (в зависимости от кислотности биоматериала); жидкая гуматная масса подвергается высушиванию при температуре 100...150°C; высушенный материал подвергается гранулированию.

В Донецком национальном университете разработана высокоэффективная технология получения гуматов калия и натрия из бурых углей, которые могут успешно использовать для приготовления высококачественных удобрений.

Использование навоза в качестве твердого топлива. Использовать навоз в качестве топлива для костров кочевые племена начали еще тысячи лет назад. Именно они установили, что высушенные лепешки из навоза различных животных успешно заменяют дефицитные дрова, которые сложно найти в степях и пустынях. А тепла, которое получали от сжигания этого вида топлива, хватало не только для приготовления еды, но и для отопления жилища.

Технология изготовления топливных брикетов из навоза известна давно людям, которые жили в степных районах. До 70-х годов прошлого столетия уголь там был редкостью. В тоже время в каждом сельском подворье было много скота, а следовательно и навоза. Изготовленных брикетов из навоза хватало практически на весь год. При этом следует заметить, что топливные брикеты проще всего приготавливать из свежего овечьего навоза, т.к. именно такие брикеты считаются самыми эффективными, хорошо горят и дают большое количество тепла.

Обычно влажность топливных брикетов составляет 8-9 %, а в сухих дровах этот показатель равен 20%.

В связи с тем, что сжигание биогаза и топливных брикетов направлено для получения тепловой энергии, возникает необходимость в проведении сравнительной оценки с целью установления наиболее эффективного способа утилизации навоза применительно к фермерским хозяйствам.

Одна тонна свиного навоза, в процессе брожения, может выделить около 65 куб. метров биогаза с теплотворной способностью 1 куб.м равной 2 квт. час. Следовательно, биогазовая установка из 1 тонны навоза может обеспечить приготовление 130 куб. м биогаза. Однако большие эксплуатационные расходы на обслуживание биогазового оборудования уменьшают этот показатель на 50%. Другими словами одна тонна свиного навоза фактически обеспечивает получение 65 квт.час тепловой энергии.

Из одной тонны навоза можно приготовить 0,5 тонны топливных брикетов с теплотворной способностью 1 кг равной 3,2 квт. час. Сжигание такого количества топливных брикетов обеспечивает получение 1600 квт. час тепловой энергии, т.е в 25 раз больше чем при сжигании газа, полученного из одной тонны навоза.

Результаты анализа технологической документации по получению биогаза из навоза показывают, что реализовать этот способ на фермерских хозяйствах очень сложно. Прежде всего это связано с тем, что весь технологический процесс, включая обслуживание биогазового оборудования, требуют специальной подготовки обслуживающего персонала.

Приготовление топливных брикетов и их сжигание с целью получения тепловой энергии, отличаются простотой в реализации и не связаны с применением сложного и дорогостоящего оборудования.

Решение проблем энергосбережения. В Донецком национальном университете разработаны составы и основы технологии приготовления гидродинамически-активных полимерных композиций (ВПК), на основе высокомолекулярных полимеров – полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА), а также композиций на основе мицеллообразующих поверхностно-активных веществ (МПАВ) [7, 10, 11, 15].

Введение в турбулентные потоки жидкостей микродобавок ВПК (5...50 г/м³ по ПЭО или ПАА) позволяет существенно (на 40...80%) снизить гидродинамическое сопротивление турбулентного трения (ГСТТ) в напорных трубопроводах промышленных диаметров (50...400) мм с естественной шероховатостью их внутренних поверхностей.

Такой по величине гидродинамический эффект можно достичь и за счет применения композиций на основе гидродинамически-активных МПАВ.

В ходе проведения лабораторных, стендовых, полигонных и натурных испытаний авторами было установлено, что ВПК могут эффективно использоваться в разомкнутых гидравлических системах канализации, водоотведения, пожаротушения и т.д. В тоже время композиции на основе гидродинамически-активных МПАВ целесообразно использовать в замкнутых гидравлических системах, к которым в первую очередь следует отнести централизованные системы тепло- и холодоснабжения [11].

Снижение ГСТТ гидродинамически-активными ВПК и композициями на основе МПАВ в напорных трубопроводах на (40...80) % позволяет: либо увеличить расход жидкости в (1,29...2,24) раза, либо уменьшить затрачиваемую насосами мощность на (40...80)%, либо увеличить длину прямолинейных участков трубопроводов в (1,43...5,0) раз, либо уменьшить диаметр используемых труб на (10...28)%.

Созданные в ДонНУ гидродинамически-активные композиции защищены патентами на изобретения.

Выводы и рекомендации к использованию полученных результатов. Для эффективного использования полученных результатов и дальнейшего развития работ по рассматриваемой проблеме необходимо: расширить границы применения способа уменьшения скорости выделения вредных газов из разлагающегося навоза путем использования природных полимеров применительно к стокам с различными физико-химическими свойствами; продолжить исследования по созданию высокоэффективных загрузок для биогазовых установок на основе смеси свиного навоза, навоза крупного рогатого скота и куриного помета; разработать практические рекомендации по эффективному использованию гидродинамически-активных композиций для повышения эффективности работы гидравлических систем используемых на КЖК; на основании опыта получения угольных брикетов обосновать целесообразность применения используемого для этих целей оборудования для организации производства по выпуску топливных брикетов из отходов животноводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда (гигиенические аспекты) / М. А. Мироненко, О. П. Половцев, И. Ф. Ярмолик [и др.] ; под ред. Д. П. Никитина. – Москва : Медицина, 1980. – 255 с.
2. 2 Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды / Ю. И. Ворошилов, С. Д. Дурдыбаев, Л. Н. Ербанова [и др.]. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 107 с.
3. Гигиена сельскохозяйственных животных / А. Ф. Кузнецов, М. В. Демчук, А. М. Карелин [и др.]. – Москва : Агропромиздат, 1991. – Т. 1. – 399 с. ; Т. 2. – 403 с.
4. 4 Собко А. Ю. Оценка риска при загрязнении атмосферного воздуха аммиаком на свиноводческом комплексе / А. П. Симоненко, А. Ю. Собко // Повховские научные чтения : труды первого международного научно-практического семинара. – Донецк : ДонНУ, 2010. – С. 153–156.
5. Симоненко А. П. Применение водорастворимых полимерных композиций для улучшения микроклимата на животноводческих комплексах / А. П. Симоненко, А. Ю. Собко // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2001. – Вип. 2001-2(27) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 48–51.
6. Патент № 67759 Украина, МПК (2012.01), А01С 3/00. Композиция для обработки гноя : / № u201107621 : заявл. 16.06.2011 : опубл. 12.03.2012 / Ступін О. Б., Симоненко О. П., Сердюк О. І., Собко О. Ю. – Бюл. №5.
7. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности : монография / под общ. ред. А. Б. Ступина. – Донецк : ДонНУ, 2010. – 503 с
8. Симоненко А. П. Использование модифицированного флокулянта для очистки сточных вод и обеззараживания осадка / А. П. Симоненко, А. Ю. Собко // Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки. – 2000. – № 1. – С. 164–170.
9. Собко А. Ю. Оптимизация режима перемешивания водных дисперсных систем с флокулянтom / А. Ю. Собко // Вісник Донецького університету. Серія А: Природничі науки. – 2008. – № 2. – С. 487–489.
10. Собко А. Ю. Флокуляционная очистка навозных стоков крупных свиноводческих комплексов добавками модифицированного полиакриламида / А. Ю. Собко, А. П. Симоненко // Девятая Международная научнопрактическая конференция, г. Ростов -на-Дону, 2-4 март. 2016г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 522–525.
11. Ступин А. Б. Гидродинамически-активные композиции в энергосбережении и экологии : монография / А. П. Симоненко, П. В. Асланов. – Донецк : ДонГУ, 1999. – 240 с.
12. Решение проблем экологии и техногенно-экологической безопасности путем применения гидродинамически-активных композиций / А. П. Симоненко, П. В. Асланов, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2017. – № 1. – С. 81–102.
13. Гладкая И. Н. Снижение гидродинамического сопротивления турбулентного течения и очистка сточных вод, загрязненных механическими примесями / И. Н. Гладкая // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО « Донецкий национальный университет». – 2019. – Вып. 11, т. 1 : Естественные науки. – С. 61–65.
14. Мобільний пристрій для високоефективного очищення стічних вод промислових підприємств / О. Ступін, О. Симоненко, П. Асланов [та ін.] // Сучасні проблеми водопостачання і знешкодження стічних вод : збірник докладів і тез Українсько-Польської науково-технічної конференції, Львів, 1996. – Львів, 1996. – С. 479–480.
15. Симоненко А. П. Гидродинамически-активные композиции на основе полимеров и поверхностно-активных веществ для решения проблем экологической безопасности и энергосбережения : специальность 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых» : диссертация ... доктора технических наук / Симоненко Александр Петрович. – Донецк, 2013. – 408 с.

Поступила в редакцию 05.04.2021 г.

**IMPROVING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF LARGE PIG-BREEDING COMPLEXES
THROUGH THE USE OF POLYMER COMPOSITIONS**

Simonenko A.P., Sobko A.IU.

This review article is the first to systematize the results of long-term experimental studies of Donetsk National University (DonNU) on the use of water-soluble polymer compositions (MIC), based on high-molecular polymers (HMP), to solve the environmental problems of large pig-breeding complexes (KSK). It is shown that the use of MIC allows: to reduce the release of harmful and foul-smelling gases from decomposing manure, to improve the technology of reagent treatment of manure effluents from solid impurities, to create the basis for an effective dust suppression technology in livestock premises and in the territories nearby to the KSK. Special attention is paid to the use of hydrodynamically active MICS to reduce hydraulic losses (reduce energy consumption) during the operation of hydraulic systems used at KSK, as well as the disposal of animal waste.

Keywords: pig-breeding complexes, environmental safety, energy saving, waste disposal.

Симоненко Александр Петрович

доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха; ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-Mail: sap2012@rambler.ru

Simonenko Aleksandr Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Собко Александр Юрьевич

старший преподаватель кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха; ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: sobko63@gmail.com

Sobko Aleksandr IUrevich

Senior Lecturer at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 504.4.062.2

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НУЖД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

© 2021 *Иванченко В.А., Степаненко Т.И.*

В работе рассмотрена существующая технологическая схема очистки шахтных вод, характерная для большинства предприятий горнодобывающей промышленности. Проведен анализ перспективных направлений и возможностей использования шахтных вод для технических нужд промышленных предприятий, что позволит снизить негативное влияние, оказываемое на поверхностные водные объекты в виду больших объемов сброса шахтных вод.

Ключевые слова: угольные предприятия, шахтные воды, очистка, техническое водоснабжение.

Обеспечение водными ресурсами надлежащего качества является одним из основополагающих факторов функционирования предприятий различных отраслей и безопасности жизнедеятельности населения. Ежегодная потребность населения и отраслей экономики в водных ресурсах распределяется неравномерно по видам экономической деятельности (рис. 1). Так, наибольшее потребление воды характерно для промышленных предприятий различных отраслей и они же являются абсолютными лидерами по объемам сброса сточных вод в поверхностные водоемы, которые сбрасывают более 60 % от всего объема сточных вод.

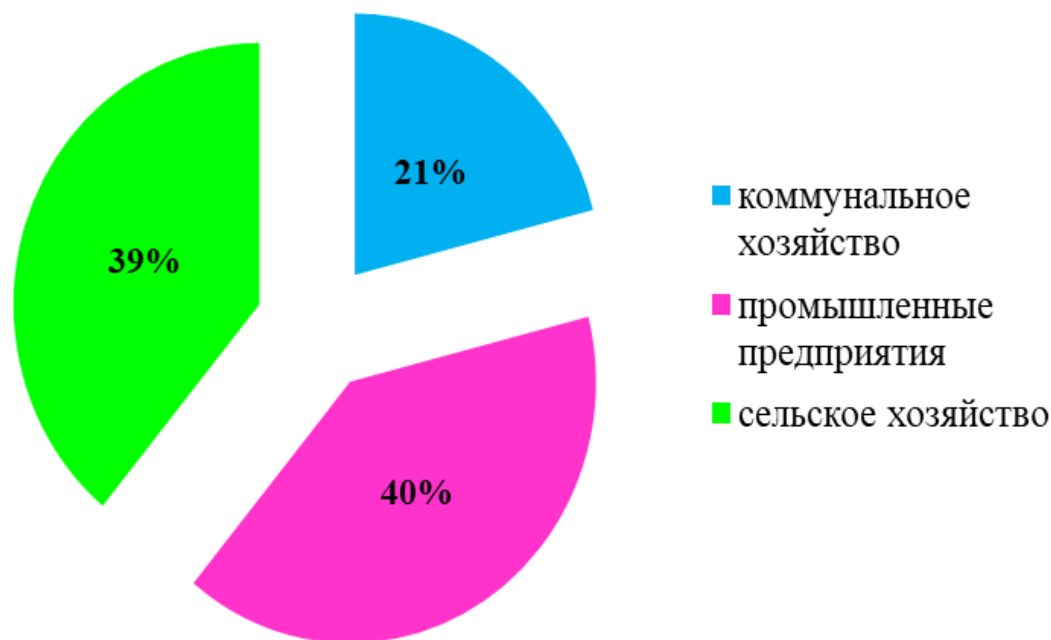


Рис. 1. Основные водопотребители по отраслям промышленности

В настоящее время одним из значимых факторов ухудшения природных условий территории промышленных регионов является загрязнение природных водоемов и водотоков неочищенными и недостаточно очищенными сточными водами, в том числе шахтными водами предприятий горной промышленности.

На рисунке 2 приведена структура образования сточных вод по видам экономической деятельности.

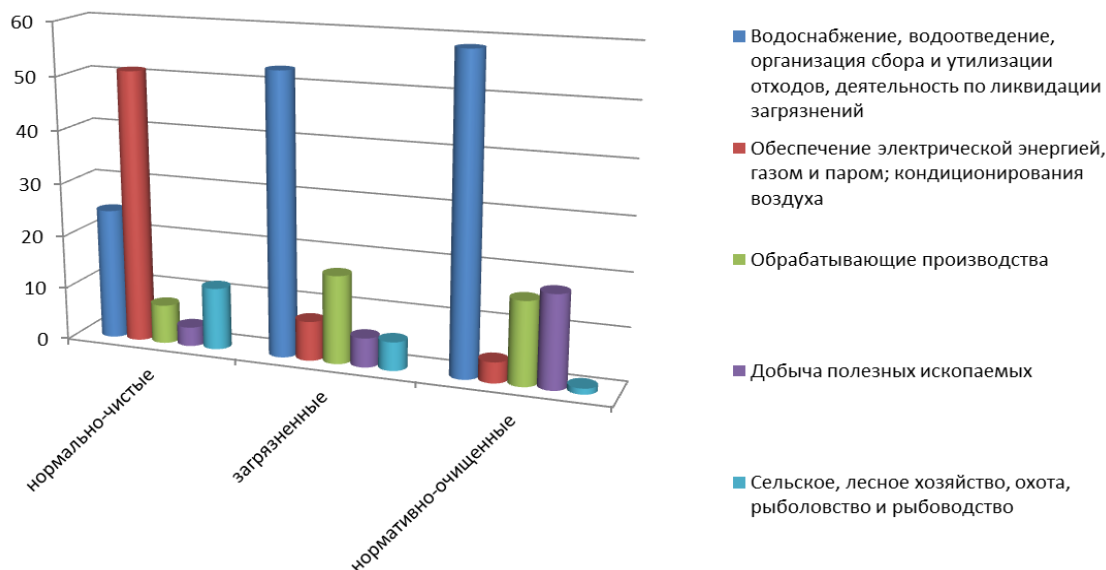


Рис. 2. Распределение объемов образования сточных вод по видам экономической деятельности в 2019 г., %

Все возвратные воды угольной промышленности подразделяют на следующие виды [1]:

- попутно-забираемые: шахтные, карьерные, дренажные;
- производственно-технологические: технологические;
- охлаждающие: промывочно-обеспыливающие;
- поверхностные: дождевые, талые, поливочно-мочные;
- хозяйственно-бытовые: банно-прачечные, фекальные, мочные.

Объемы образования шахтных вод на разных предприятиях отличаются. Также изменяться могут объемы образующихся вод по годам в пределах одного предприятия.

На рисунке 3 представлена диаграмма распределения объемов образования и сбросов шахтных вод на примере одной шахты за период 2014-2016 гг.

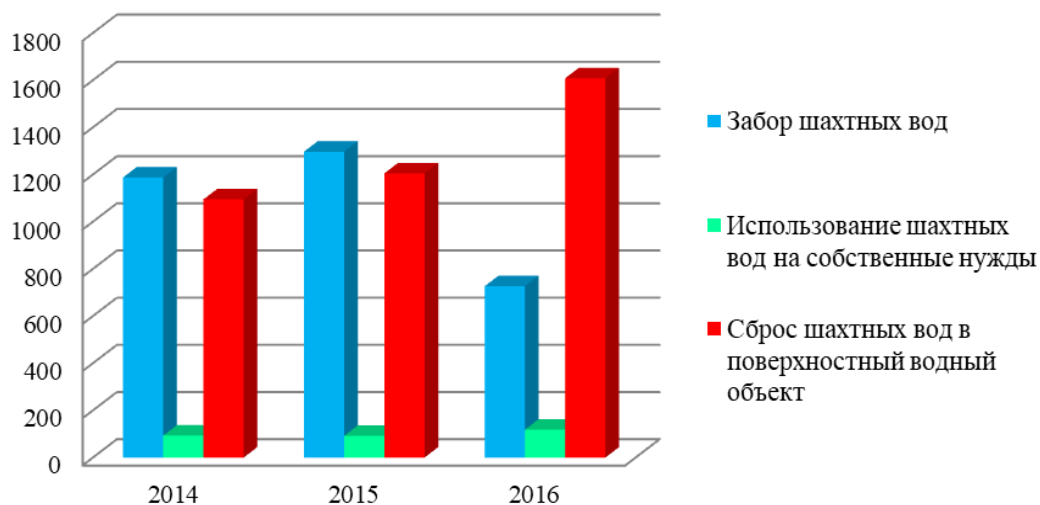


Рис. 3. Объемы забираемых шахтных вод

Как следует из данных, представленных на рисунке 3, объемы забираемых шахтных вод с каждым годом имеют тенденцию к увеличению, а, соответственно, и увеличивается количество сбрасываемых шахтных вод в поверхностные водные объекты.

Согласно статистических данных большое количество предприятий горнодобывающей промышленности находится в состоянии ликвидируемых. При этом проектами закрытия шахт предусматривается ликвидация собственных водоотливных комплексов и переток по горным выработкам шахтных вод на водоотливные комплексы других шахт. Это свидетельствует о значительном увеличении объемов сточных вод, поступающих на очистные сооружения [2-4].

Шахтные воды, формируясь за счет подземных и поверхностных вод, в том числе и атмосферных осадков, стекают по выработанному пространству и горным выработкам, насыщаются взвешенными веществами, различными химическими веществами и бактериологическими загрязнениями [1].

Большое разнообразие химического состава шахтных вод вызывает необходимость их классификации по химическому составу, так как выделение типов воды облегчает оценку ее питьевых, технических и ирригационных качеств, а также свойств, оказывающих отрицательное влияние на поверхностные и подземные водные источники.

Помимо загрязнения органическими и механическими примесями, шахтные воды характеризуются высоким содержанием солей, что ограничивает их комплексное использование в промышленности без надлежащей очистки, а также представляет реальную опасность загрязнения поверхностных и подземных вод [5].

Содержание микроэлементов в шахтных водах настолько высоко, что соли тяжелых металлов в больших количествах накапливаются в отложениях бассейна рек и в водохранилищах, поэтому возникает необходимость в совершенствовании методов очистки и изучении путей использования шахтных вод для снижения загрязнения поверхностных вод [5].

В таблице 1 приведен усредненный состав шахтных вод по содержанию металлов.

Таблица 1. Усредненное содержание металлов в шахтных водах

№ п/п	Наименование металла	Усредненная концентрация, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³	Класс опасности
1	Железо	0,39-1,87	0,3	3
2	Алюминий	0,35-2,130	0,5	2
3	Барий	0-4,400	0,1	2
4	Медь	0,012-0,073	1,0	3
5	Кобальт	0-0,019	0,1	2
6	Никель	0-0,024	0,1	3
7	Мобилен	0,01-0,004	0,25	2
8	Ванадий	0-0,022	0,1	3
9	Титан	1,137	не реглам.	4
10	Марганец	0,048-0,374	0,1	3
11	Серебро	0-0,011	0,05	2
12	Литий	0-0,140	не реглам.	2
13	Стронций	0-12,10	7,0	2

Из приведенных данных следует, что превышение ПДК в шахтных водах может наблюдаться по таким металлам как: железо в 6,24 раза; алюминий – в 4,26 раза; барий – в 44 раза; стронций – в 1,73 раз.

На рисунках 4 и 5 представлена динамика изменения содержания взвешенных веществ, железа общего в шахтных водах по месяцам года за период с 2014 по 2016 г.



Рис. 4. Динамика изменения концентрации взвешенных веществ

Как видно из данных представленных, на рисунке 4, концентрация взвешенных веществ в шахтных водах за период 2014-2016 годов изменялась в течение года и имела пиковые значения: в 2014 году в январе, апреле, в 2015 году – в декабре. В 2016 году концентрация взвешенных веществ снизилась по сравнению с 2014-2015 гг., максимальная концентрация наблюдалась в августе.

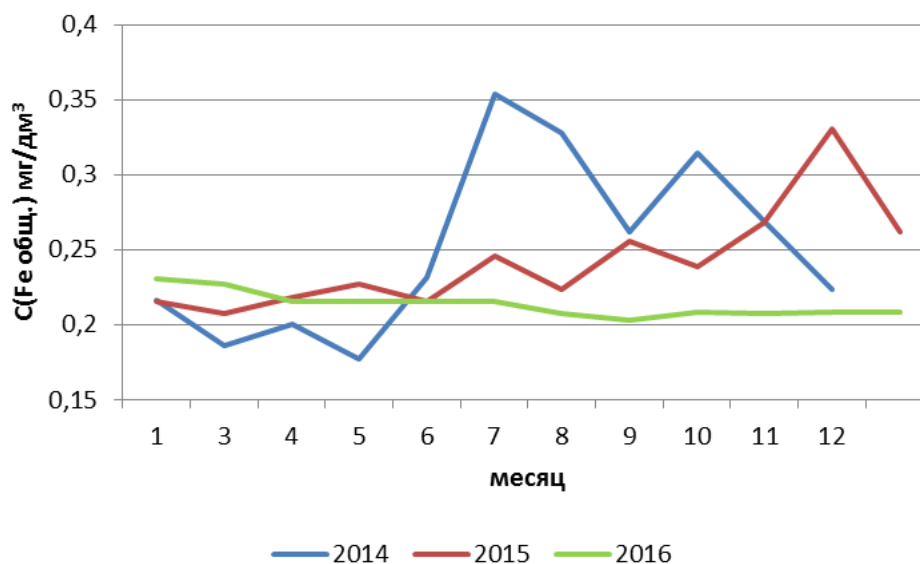


Рис. 5. Динамика изменения концентрации железа общего

Как видно из данных представленных, на рисунке 5, концентрация железа общего в шахтных водах в 2014–2015 годах изменялась в течение года неравномерно. Максимальные значения приходились на июль, октябрь (2014 г.), декабрь (2015 г.). В течение 2016 г. концентрация железа общего в шахтных водах изменялась незначительно.

В настоящее время существует множество методов очистки сточных вод. Среди них наиболее распространенными являются:

Механические методы (процеживание, осветление, фильтрование, выделение твердой фазы под действием центробежных сил) применяются для очистки вод от крупных загрязнений, в том числе взвешенных веществ, масел и нефтепродуктов и др.

Химические методы применяются для нейтрализации кислых и щелочных стоков, очистки от растворенных в воде солей тяжелых металлов (кадмия, хрома, свинца и т.д.), фенола, цианидов.

Физико-химические методы включают в себя извлечение и обезвреживание вредных примесей путем изменения агрегатного состояния воды, воздействия на стоки ультразвуком, ультрафиолетом, магнитными полями и т.д. Данные методы применяют для очистки вод от различных видов загрязняющих веществ в растворенном, взвешенном, коллоидном и иных видах состояния.

Однако на практике широко применяется технология осветления шахтных вод, которая заключается в их отстаивании в горизонтальных отстойниках без какой-либо предварительной очистки [1]. Производственный опыт показывает, что такие отстойники задерживают только крупные взвешенные примеси (мелкие частицы угля), работают в режиме песколовков, и дают недостаточный эффект осветления. Тонкодисперсные взвеси (глинистые частицы шахтных вод) имеют малую гидравлическую крупность и выносятся из отстойников. Это приводит к сбросу в природную водную среду недостаточно очищенных шахтных вод и заиливанию водных объектов. Проблема усугубляется отсутствием достаточно эффективных устройств для очистки зашламленных шахтных отстойников, что приводит к накоплению осадков в зоне осветления, их размыву и выносу в очищенную воду. При нерегулярной чистке отстойников возможны ситуации, когда мутность шахтной воды на выходе из сооружения превышает мутность исходной воды из водоотливного става [3].

На рисунке 6 приведена наиболее распространённая технологическая схема очистки шахтных вод.

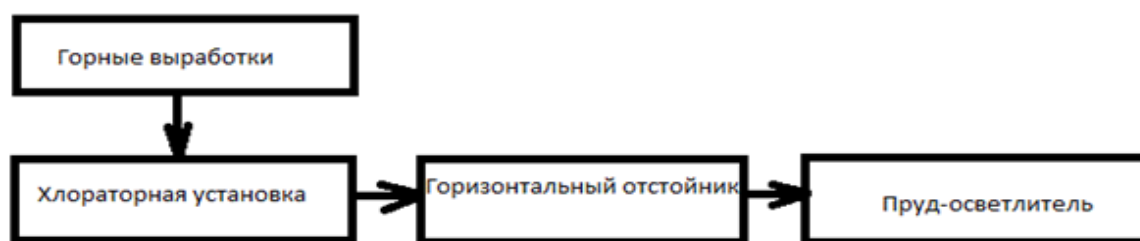


Рис. 6. Технологическая схема очистки шахтных вод

Проведенный анализ применяемой технологической схемы и оборудования для очистки шахтных вод свидетельствует о том, что эффективность очистки шахтных вод на большинстве имеющихся очистных сооружений недостаточна и очищенная вода по своим качественным показателям не удовлетворяет нормативным требованиям, предъявляемым к сбросу в поверхностные водные объекты.

Совместный анализ схем с данными по мутности шахтных вод дает вывод о том, что для большинства шахт для глубокой очистки неизбежно применение двухступенчатого осветления: осаждение взвешенных веществ в тех или иных отстойниках (или изъятие их в осветлителях с взвешенным слоем осадка) на первой

ступени и фильтрование на второй. Известны следующие недостатки двухступенчатых схем, связанные с наличием первой ступени очистки:

- громоздкость и малая производительность отстойников;
- большие капитальные затраты на их сооружение;
- использование принципа объемной коагуляции,
- потребление повышенных доз реагентов;
- трудности, связанные с чисткой отстойников.

В практике функционирования предприятий угольной промышленности известны следующие направления использования шахтных вод для нужд технического водоснабжения:

- обогащение угля мокрым способом;
- пылеподавление, орошение и увлажнение угля;
- дегазация угольных пластов;
- кондиционирование воздуха;
- использование в котельных установках;
- выработка сжатого воздуха;
- охлаждение технологического оборудования;
- другие производственные нужды (профилактика породных отвалов, гидрозолоудаление, тушение шлака, гидросмыв просыпей, борьба с пылью на автодорогах и промплощадках, другие технические нужды).

Критериями оценки пригодности использования шахтных вод для технических потребностей предприятий являются жесткие требования к следующим параметрам:

- минерализация (сухой остаток), а также жесткость, щелочность, водородный показатель рН, обусловленные катионно-анионным составом воды;
- содержание загрязняющих веществ I-III класса опасности;
- содержание взвешенных веществ;
- радиационная безопасность;
- эпидемиологическая безопасность;
- запах;
- ограничение показателей отдельных параметров по результатам производственных испытаний (наладки) оборудования или технологического процесса;
- возможность организации зон санитарной охраны (при необходимости) и использования технологии очистки, обеззараживания, водоподготовки шахтных вод и инженерное обеспечение в соответствии со СНиП 2.04.02 «Водоснабжение, наружные сети и сооружения».

Проанализировав требования к качеству технической воды и усредненный химический состав шахтных вод, можем сделать вывод, что содержание взвешенных веществ, железа общего, алюминия, бария, стронция ограничивает использование шахтных вод в целях обогащения угля мокрым способом, пылеподавления, орошения и увлажнения угля, кондиционирования воздуха, для охлаждения компрессоров и турбокомпрессоров.

При использовании шахтных вод для дегазации угольных пластов, для охлаждения технологического оборудования нормам не соответствует по общей жесткости, а также содержанию железа общего, алюминия, бария, стронция [6-8].

Для производства тепловой энергии паровыми и водогрейными котлами шахтная вода превышает норму ПДК по взвешенным веществам, общей жесткости, концентрации железа общего, алюминия [6, 7].

Из вышеприведенного следует, что пригодность использования шахтных вод для технических нужд предприятий и организаций других отраслей промышленности ограничивается, прежде всего, соответствием химического состава шахтных вод технологическим процессам производства и другим дополнительным требованиям потенциальных водопотребителей.

Возможность использования очищенных шахтных вод, откачиваемых из ликвидированных шахт, для технического водоснабжения других предприятий и для других целей определяется в каждом конкретном случае и согласовывается с территориальными органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Возникает необходимость разработки и внедрения новых эффективных технологических схем очистки шахтных вод с заменой устаревшего оборудования на современное с целью возможности использования их для нужд технического водоснабжения, а, следовательно, для снижения негативного воздействия на поверхностные водные объекты.

Использование шахтных вод для различных производственных нужд на практике может иметь следующие преимущества:

- существенное снижение сброса недостаточно очищенных сточных вод в гидрографическую сеть с максимально возможным извлечением минеральных компонентов;
- уменьшение использования воды питьевого качества в технологических процессах;
- существенное снижение платы за загрязнение окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долина Л. Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки : справочное пособие / Л. Ф. Долина ; Молодежная экологическая Лига Приднепровья. – Днепропетровск : [б. и.], 2000. – 114 с.
2. Технологические и организационные аспекты комплексного использования ресурсов угольных месторождений / В. К. Костенко, Е. С. Матлак, М. Н. Шафоростова, Е. Л. Завьялова. – Донецк : ДонНТУ, 2008. – 514 с.
3. Ступин А. Б. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности : монография / А. Б. Ступин. – Донецк : ДонНУ, 2010. – 503 с.
4. Regulation of Mine Waters in the European Union: The Contribution of Scientific Research to Policy Development / A. Kroll, J. M. Amezaga, P. L. Younger, C. Wolkersdorfer. – DOI 10.1007/s102300200043 // Mine Water and the Environment. – 2002. – Vol. 21, № 4. – P. 193–200.
5. Zgorska A. Environmental risk caused by high salinity mine water discharges from active and closed mines located in the Upper Silesian Coal Basin (Poland) /A. Zgorska, L. Trzski, M. Wiesner. – Текст : электронный // Proceedings IMWA 2016, Freiberg/Germany. Mining Meets Water : Conflicts and Solutions. – 2016. – P. 85–92. – URL: https://www.imwa.info/docs/imwa_2016/IMWA2016_Zgorska_95.pdf (дата обращения: 10.04.2021).
6. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» - Взамен СанПиН 4630-88; введен 2001-01-01. — URL: <https://www.vo-da.ru/book/sanpin-2-1-5-980-00> (дата обращения: 10.04.2021).
7. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения : [утверждены главным государственным санитарным врачом РФ 26 сентября 2001 года : в редакции от 26 июня 2010 года. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : сайт. – URL: <http://71.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/dc9/dc9696d129043734cfc9d6886e48d33e.pdf> (дата обращения: 12.04.2021).

8. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : [затверджені головним державним санітарним лікарем України 12 травня 2010 року : за редакцією від 24 грудня 2019 року]. – Текст : електронний // Верховна Рада України. Законодавство України : офіційний сайт. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>. – (дата обращения: 12.04.2021).

Поступила в редакцію 13.04.2021 г.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF THE USE OF MINING WATER FOR TECHNICAL NEEDS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES IN ORDER TO REDUCE THE TECHNOGENIC LOAD ON WATER BODIES

Ivanchenko V.A., Stepanenko T.I.

The paper considers the existing technological scheme of mine water purification, which is typical for the majority of enterprises of the mining industry. The analysis of perspective directions and opportunities of mine water for technological needs of industrial enterprises conducted. This will reduce the negative impact on surface water bodies due to large volumes of mine water discharge.

Keywords: coal enterprises, mine waters, purification, technical water supply.

Иванченко Виктория Александровна

магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
ДНР, г. Макеевка.
E-mail: viktoriya.ivanchenko.86@mail.ru

Ivanchenko Viktoriia Aleksandrovna

Master student at Department of Technospheric security of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka.

Степаненко Татьяна Ивановна

кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
ДНР, г. Макеевка.
E-mail: t.i.stepanenko@donnasa.ru

Stepanenko Tatiana Ivanovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Technospheric security of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka.

ИНФОРМАЦИОННАЯ РУБРИКА

60-ЛЕТИЮ ПЕРВОГО ПОЛЁТА ЧЕЛОВЕКА В КОСМОС

12 апреля отмечается Всемирный День авиации и космонавтики – памятная дата, которая приурочена к первому полёту человека в космос 12 апреля 1961 года, который совершил гражданин Советского Союза Юрий Алексеевич Гагарин на космическом корабле «Восток-1». В СССР, как праздник, День космонавтики – был учреждён уже в 1962 году на основании Указа Президиума ВС СССР от 9 апреля.

В 1968 году данный праздник получил международный статус на конференции Международной авиационной федерации. При этом, начиная с 2011 года, праздник носит еще одно название – Международный день полёта человека в космос. Соответствующая резолюция была принята 7 апреля 2011 года на пленарном заседании 65-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН по инициативе Российской Федерации. Соавторами данной резолюции стали 60 стран мира, а сама резолюция была приурочена к 50-летнему юбилею первого полета человека в космос.



Гагарин Юрий Алексеевич
09 марта 1934 – 27 марта 1968

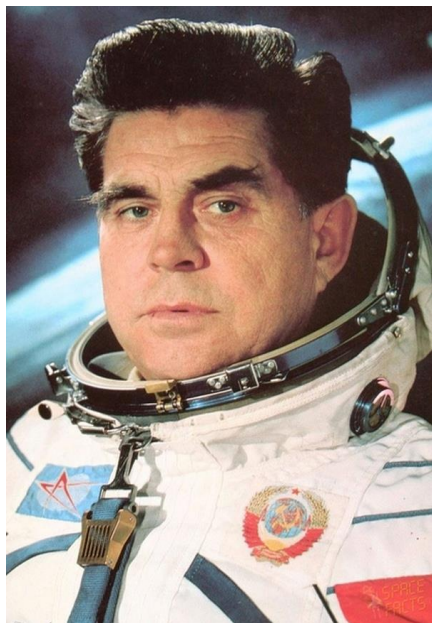
12 апреля 1961 года гражданин Советского Союза старший лейтенант Юрий Алексеевич Гагарин (позывной «кедр») стал первым человеком в мировой истории, совершившим полёт в космическое пространство, открыв для всего человечества новую эпоху – эпоху пилотируемой космонавтики.

Ракета-носитель «Восток» с кораблём «Восток-1», на борту которого находился Гагарин, была запущена с космодрома Байконур, расположенного в Кызыл-Ординской области Казахстана.

Гагарин облетел Землю на высоте 302 км со скоростью около 28 тысяч км/ч, после чего успешно приземлился в Саратовской области.

Полёт, который продолжался всего 108 минут, стал одним из самых мощных и ярких прорывов в освоении космоса. Сразу же после полёта Гагарину было присвоено внеочередное воинское звание майора, а также звание Героя Советского Союза. В одночасье его имя стало известно во всем мире.

Этот праздник особенно важен как для Физико-технического факультета, так и для Донбасса - региона, который является родиной немало количества легендарных космонавтов, о которых рассказано далее.



Береговой Георгий Тимофеевич
15 апреля 1921 – 30 июня 1995

Полёт продолжался почти 4 суток. Георгий Тимофеевич стал старейшим землянином, который побывал в космосе. За совершение космического полёта награждён второй звездой Героя Советского Союза (1968 г.).



Шонин Георгий Степанович
03 августа 1935 – 06 апреля 1997

Родился в селе Фёдоровка УССР. Вскоре после рождения его семья переехала в город Енакиево в Донбассе.

В 1941 году окончил Ворошиловградскую школу военных лётчиков имени Пролетариата Донбасса.

Участник Великой Отечественной войны с августа 1942 года (командир авиазвена 3-й воздушной армии Калининского фронта). Во время ВОВ совершил 186 боевых вылетов. Получил звезду Героя СССР в 1944 году.

В 1963 году зачислен в отряд советских космонавтов. Космический полёт он совершил в 1968 году на корабле «Союз-3» в возрасте 47 лет.

Родился в городе Ровеньки Ворошиловградской (ныне Луганской) области УССР. Окончил Военно-морское авиационное училище имени Сталина (1957 г.) и Военно-воздушную инженерную академию имени Н. Е. Жуковского (1968 г.).

В 1960 году был зачислен в первый отряд космонавтов СССР.

В 1969 году участвовал в космическом полёте в качестве командира корабля «Союз-6». Продолжительность полёта составила практически 5 суток. После полёта награжден звездой Героя Советского Союза.

В 1978 году получил ученую степень кандидата технических наук.



Ляхов Владимир Афанасьевич
20 июля 1941 – 20 апреля 2018

Дважды получал звание Героя Советского Союза (1979 г., 1983 г.). С 2001 года являлся Президентом, а затем Почётным президентом Луганского землячества Москвы.

Родился в городе Антрацит Ворошиловградской (ныне Луганской) области УССР. После окончания школы учился в школе первоначального обучения лётчиков. В 1964 году окончил Харьковское высшее авиационное училище лётчиков и служил в авиационных частях Военно-воздушных сил СССР.

В 1967 году зачислен в отряд советских космонавтов. Трижды летал в космос (1979 г., 1983 г., 1988 г.). Общая продолжительность полётов – 333 суток.

В 1979 году совершил самый продолжительный на тот момент космический полёт - 175 дней 35 минут 37 секунд.



Кизим Леонид Денисович
05 августа 1941 – 14 июня 2010

После выхода в отставку работал в течении пяти лет на кафедре систем автоматического управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова.

Родился в городе Красный Лиман Сталинской (ныне Донецкой) области УССР. В 1958 году окончил среднюю школу, после чего поступил в Черниговское высшее военное авиационное училище лётчиков, которое окончил в 1963 году. Служил в Военно-воздушных силах СССР.

В отряд советских космонавтов зачислен в 1965 году. Трижды летал на орбиту Земли. (1980 г., 1984 г., 1986 г.) Совершил шесть выходов в открытый космос. Общее время нахождения в космосе практически 375 суток, в открытом космосе – 32 часа. Дважды герой Советского союза (1980 г., 1984 г.).

После выхода в отставку работал в



Волков Александр Александрович
27 мая 1948

Родился в городе Горловка Сталинской (ныне Донецкой) области УССР.

В 1970 году окончил Харьковское высшее военное авиационное училище лётчиков имени дважды Героя Советского Союза С. И. Грицевца. Служил в Военно-воздушных силах лётчиком-инструктором. Имеет квалификации «Военный лётчик 1-го класса» и «Лётчик-испытатель 2-го класса». Освоил 24 типа самолётов.

Зачислен в отряд советских космонавтов с 1976 года. Трижды был в космосе (1985 г., 1989 г., 1992 г.). Общая продолжительность полётов – более 391

суток, время в открытом космосе – 10 часов.

В 1985 году награждён звездой Героя Советского Союза. Во время второго и третьего полетов его позывной был «Донбасс-1». Является почётным гражданином города Горловка.

Зав. учебной лабораторией кафедры РФ и ИКТ
Третьяков И.А.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Редакция журнала «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки» принимает к рассмотрению на предмет опубликования в журнале ранее не опубликованные и не представленные для одновременной публикации в других изданиях научные статьи по тематике журнала.

2. Авторы статей несут персональную ответственность за наличие элементов плагиата в текстах статей, за полноту и достоверность изложенных фактов и положений, за факт их публикации. Допускается публикация не более двух статей от одного автора в одном номере и наличие не более пяти авторов одной статьи. Один из авторов должен иметь ученую степень. Гонорар не выплачивается и плата за публикацию статей не взимается.

3. Авторами представляется рукопись статьи в одном экземпляре (на русском или английском языке), напечатанном с одной стороны листа бумаги формата А4 (экземпляр подписывается авторами). Страницы рукописи должны быть последовательно пронумерованы. Объем рукописи, как правило, от 5 до 15 страниц (для обзорной статьи – до 25), включая рисунки, таблицы, список литературы, сведения об авторах. Вместе с рукописью на адрес электронной почты vestnik.donnu.g@donnu.ru высылается электронный вариант с полным текстом статьи в формате doc или docx. При отсутствии возможности предоставления в редколлегию рукописи, на электронную почту редакции высылается полный текст статьи в формате pdf. Статьи, не соответствующие Правилам для авторов или тематике журнала, к рассмотрению не принимаются. Все статьи, принятые к рассмотрению, подвергаются рецензированию и в случае положительной рецензии – научному и техническому редактированию.

4. Решение о публикации, публикации после доработки/переработки или отклонении статьи принимается редакционной коллегией журнала. Если статья рекомендуется к публикации после небольшой авторской доработки, редакция направляет авторам статьи замечания (без указания рецензента). Статья, направленная авторам на доработку, должна быть возвращена в исправленном виде в максимально короткий срок. К доработанной статье необходимо предоставить письмо от авторов, содержащее ответы на все замечания и поясняющие все изменения, сделанные в статье. В случае отклонения статьи редакция направляет авторам рецензию (без указания рецензента) или выдержки из нее, либо аргументированное письмо редактора. Редакция не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей, за исключением случаев явного недоразумения.

5. Обязательные требования к оформлению статей:

- **Размер бумаги:** А4.
- **Ориентация:** книжная.
- **Поля:** зеркальные, верхнее – 30 мм, нижнее – 30 мм, внутри – 30 мм, снаружи – 20 мм.
- **Положение верхнего и нижнего колонтитула относительно края:** 2 см.
- **Междустрочный интервал:** одинарный.
- **Абзацный отступ:** 1 см.
- **Основной текст статьи:** шрифт Times New Roman, размер 12 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.
- **Аннотация, список литературы, сведения об авторах:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.
- **Подписи, заглавие и содержание таблиц:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по центру, без автоматической расстановки переносов.

6. Текст статьи должен соответствовать следующей структурной схеме:

- **Первая строка:** индекс УДК – выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через строку:** **НАЗВАНИЕ** статьи – полужирный, выравнивание по центру, прописными буквами, без переноса слов, без абзацного отступа.
- **Через строку:** копирайт © и год – полужирный, выравнивание по левому краю, без точки после года, через 3 пробела **фамилия(и) и инициалы автора(ов)** – полужирный, курсив, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через две строки:** аннотация объемом до 100 слов, кратко отражающая предмет статьи, примененные методы исследований и основные результаты, полученные авторами.
- **На следующей строке:** словосочетание **Ключевые слова:** – полужирный, курсив. Далее приводятся ключевые слова количеством до 10 слов, отделяемых друг от друга запятой. Блок аннотация и ключевые слова рекомендуется отделять от основного текста с помощью инструмента «Границы».
- **Через две строки:** основной текст статьи, который содержит введение, основную часть и выводы. Во **введении** рекомендуется излагать постановку проблемы в общем виде и связь с важнейшими научными и практическими задачами, анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья, формулировку целей статьи. В **основной части** рекомендуется излагать основные материалы исследования с полным обоснованием полученных научных результатов. Основную часть рекомендуется структурировать на разделы с названиями, отражающими их содержание (например: постановка задачи; методы ее решения; анализ полученных результатов). В **выводах** рекомендуется кратко и четко подводить итоги основных результатов, полученных авторами и описывать перспективы дальнейших исследований в данном направлении.
- **Через строку:** словосочетание **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** размером 10 пт., полужирный, выравнивание по левому краю, прописными буквами, без абзацного отступа. Далее через строку с абзацным выступом 0,5 см приводится нумерованный перечень используемых литературных источников общим списком в порядке упоминания в тексте на языке оригинала в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание» и ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка». Ссылка на источник приводится в квадратных скобках. Разрешается ссылаться только на опубликованные работы. Необходимо включение в список литературы источников последних 5-10 лет по исследуемому вопросу.
- **Через строку:** надпись «Поступила в редакцию хх.хх.20хх г.» размером 10 пт., курсив, выравнивание по правому краю.
- **Через строку:** приводится **НАЗВАНИЕ** статьи, **фамилия(и) и инициалы автора(ов)**, аннотация и ключевые слова (**Keywords**) на английском языке (перевод) размером 10 пт.
- **Через строку:** сведения об авторах размером 10 пт., в таблице с параметром «Нет границ», содержащей два столбца (для сведений на русском и английском языках):
 - **Фамилия, имя, отчество;**
 - ученая степень, ученое звание, должность, с указанием организации (в соответствии с уставом), которую представляет автор;
 - страна, город;
 - адрес электронной почты.

7. Образец оформления статьи:

УДК 539.2:534.242

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОЙ СРЕДЫ ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

© 2021 Третьяков И.А., Данилов В.В.

В статье проведен анализ возможности использования метода акустического резонанса для определения параметров упругой среды. Использование регламентированных условий возбуждения упругих колебаний и последующая цифровая обработка позволяют определить качество технических изделий как добротность акустического резонатора.

Ключевые слова: дефектоскопия, резонансная спектроскопия, коэффициент упругости.

Введение. Контроль и диагностика механического состояния [1] и целостности...

Постановка задачи. Представляется важным выявление в ...

Методы резонансной акустической спектроскопии. Широкое распространение в диагностике целостности изделий строительных материалов [2] и ...

Выводы. Таким образом, полученные результаты позволяют...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев А. В. Резонансная акустическая спектроскопия при низких добротностях / А. В. Лебедев, Л. А. Островский, А. М. Сутин, И. А. Соустова [и др.] // Акуст. журнал. – 2003. – Т. 49. – № 1. – С. 92-99.
2. Data from ECG recording : [сайт]. – URL: <https://bioelectromagnetism.wordpress.com/2012/11/28/data-from-ecg-recording-in-todays-class/> (дата обращения: 01.03.2021). – Текст : электронный.

Поступила в редакцию xx.xx.2021 г.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE RESILIENT MEDIUM UNDER IMPACT

Tretiakov I.A., Danilov V.V.

In this paper the possibility of using the acoustic resonance method to determine the parameters of an elastic medium is analyzed. The use of regulated conditions for the excitation of elastic vibrations and subsequent digital processing make it possible to determine the quality of technical products as the q-factor of an acoustic resonator.

Keywords: flaw detection, resonance spectroscopy, resiliency coefficient.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заведующий учебной лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Head of laboratory at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

8. Рисунки и таблицы располагаются по тексту строго в пределах печатного поля книжной ориентации страниц после их первого упоминания в тексте статьи. Вся текстовая информация на рисунках должна быть четкой и разборчивой и не иметь лишних деталей. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись (не совмещенную с рисунком) в формате: «Рис. №. Название». Каждая таблица должна иметь заглавие в формате: «Таблица №. Название». Во избежание смещений рисунков рекомендуется размещать их в таблицах с двумя строками с параметром «Нет границ» (в первой строке размещается рисунок, во второй - подрисуночная подпись). Все рисунки и таблицы должны быть последовательно пронумерованы арабскими цифрами, допускается применение букв при нумерации рисунков, состоящих из нескольких частей. Сканированные рисунки не допускаются. Образец оформления рисунка и таблицы:

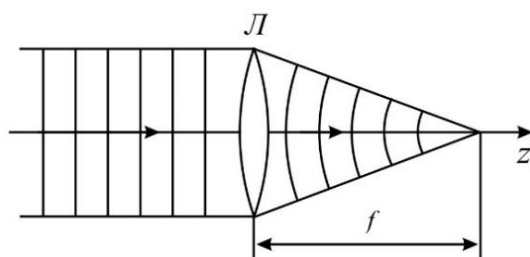


Рис. 1. Действие линзы на плоскую волну

Таблица 1. Номиналы элементов схемы УМ класса F₃

Элемент	Номинал	Единица измерения
C _{out}	25	пФ
C ₁	10	нФ
C ₂	100	мкФ
L ₁	150	мкГн
L ₂	460	нГн
L ₃	765	нГн
R ₁	0,39	МОм

9. Формулы выравниваются по центру и имеют, при необходимости, сквозную нумерацию по правому краю. Для выравнивания формул рекомендуется использовать таблицы с параметром «Нет границ». После формул ставится тот знак препинания, который необходим исходя из построения фразы. Нумеровать следует только те формулы, на которые имеются ссылки в тексте. Ссылки на формулы приводятся в круглых скобках. Каждая формула отделяется от основного текста интервалом в 6 пт. перед и после. Формулы, их компоненты и все переменные в тексте и отдельно в строках набираются только с помощью редакторов формул Microsoft Equation 3.0 или MathType 5.0 и выше с параметрами:

- **текст и переменная:** наклонный;
- **матрица-вектор:** полужирный наклонный;
- **размер:** обычный - 12 пт., крупный индекс - 9 пт., мелкий индекс - 7 пт., крупный символ - 18 пт., мелкий символ - 12 пт.

Образец оформления формулы:

$$y_t = c_0 + \sum_{i=1}^n c_i y_{t-i} + b \xi_t \quad (1)$$

10. Материалы предоставляются по адресу:

283001, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13, Физико-технический факультет.

Главный редактор: Данилов Владимир Васильевич, каб. 203.

Зам. главного редактора: Симоненко Александр Петрович, каб. 260.

Ответственный секретарь: Третьяков Игорь Александрович, каб. 210.

Контактные тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

Научное издание

**Вестник Донецкого национального университета.
Серия Г: Технические науки**

– 2021. – № 2.

Технический редактор: И.А. Третьяков

Адрес редакции:

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24
Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

URL: <http://donnu.ru/vestnikG>

Подписано в печать 28.05.2021 г.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать – цифровая. Усл. печ. л. 15,23.
Тираж 100 экз. Заказ. №

Издательство ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24.
Тел.: +38 (062) 302 92 27.

Свидетельство о внесении субъекта издательской деятельности
в Государственный реестр
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.