

ISSN 2072-0297



# МОЛОДОЙ<sup>®</sup> УЧЁНЫЙ

международный научный журнал



16+

**16**  
2017  
Часть II

ISSN 2072-0297

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал

Выходит еженедельно

№ 16 (150) / 2017

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:** Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, доктор педагогических наук

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Абдрашилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Жураев Хуснидин Олтинбоевич, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам

Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук

Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.**

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

#### **Международный редакционный совет:**

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*

Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*

Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*

Ахмеденов Кажмурат Максutowич, *кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)*

Бидова Бэла Бертовна, *доктор юридических наук, доцент (Россия)*

Борисов Вячеслав Викторович, *доктор педагогических наук, профессор (Украина)*

Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

Данилов Александр Максимович, *доктор технических наук, профессор (Россия)*

Демидов Алексей Александрович, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, *доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)*

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, *доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)*

Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, *кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)*

Кайгородов Иван Борисович, *кандидат физико-математических наук (Бразилия)*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Козырева Ольга Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Россия)*

Колпак Евгений Петрович, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Курпаяниди Константин Иванович, *доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

Малес Людмила Владимировна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, *кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)*

Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, *доктор философских наук, профессор (Россия)*

Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*

Сорока Юлия Георгиевна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Узаков Гулом Норбоевич, *доктор технических наук, доцент (Узбекистан)*

Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

Шарипов Аскар Калиевич, *доктор экономических наук, доцент (Казахстан)*

**Руководитель редакционного отдела:** Кайнова Галина Анатольевна

**Ответственные редакторы:** Осянина Екатерина Игоревна, Вейса Людмила Николаевна

**Художник:** Шишков Евгений Анатольевич

**Верстка:** Бурьянов Павел Яковлевич, Голубцов Максим Владимирович, Майер Ольга Вячеславовна

Почтовый адрес редакции: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

Фактический адрес редакции: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; http://www.moluch.ru/.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый».

Тираж 500 экз. Дата выхода в свет: 10.05.2017. Цена свободная.

Материалы публикуются в авторской редакции. Все права защищены.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

---

---

**Н**а обложке изображен *Харрисон Шмитт*, последний человек, официально побывавший на Луне (после него поверхность Луны сразу же покинул командир экипажа Юджин Сернан). Харрисон Шмитт — единственный из астронавтов, который не был летчиком по профессии..

Харрисон Шмитт (*Harrison Hagan «Jack» Schmitt*) родился 3 июля 1935 года в городке Санта-Рита в штате Нью-Мексико, США. В 1957 году окончил Калифорнийский технологический институт, получив степень бакалавра по геологии, затем еще год изучал геологию в Норвегии, пару лет работал геологом на Аляске и уже в 1964 году получил докторскую степень в Гарварде.

С 1965 года в составе ученых-астронавтов работал в НАСА, где готовил экипаж «Аполлона» к исследованию космических геологических пород. К тому времени когда его самого включили в экипаж экспедиции «Аполлона-17», он уже год учился в летной школе и стал пилотом реактивного самолета.

В 1972 году он вошел в состав экипажа, который последним побывал на Луне. Посадочный модуль «Челленджер» провел на Луне 75 часов и 1 минуту. За это время Харрисон Шмитт и Юджин Сернан собрали с поверхности

спутника Земли рекордные 110 килограммов породы, в числе которых был образец, обозначенный как Троктолит 76535 и впоследствии названный «вне всяких сомнений, самым интересным образцом, привезенным с Луны». Помимо этого, были добыты подтверждения того, что Луна когда-то обладала активным магнитным полем.

В 1976 году он стал членом Сената от штата Нью-Мексико и проработал там один срок. После этого он долгое время консультировал правительство США и НАСА по вопросам бизнеса, государственной политики, геологии и космоса. Затем, в ноябре 2008 года, внезапно подал в отставку и покинул Планетарное общество. В своем прошении об отставке Харрисон Шмитт написал: «Запугивание глобальным потеплением используется как политический инструмент для увеличения государственного контроля над жизнями американцев, их доходами и образом мышления».

Шмитт фигурирует в документальном фильме «В тени Луны» ('In the Shadow of the Moon'), снятом в 2007 году.

Имя Харрисона «Джека» Шмитта увековечено в Зале славы астронавтов, штат Флорида, США.

*Екатерина Осянина, ответственный редактор*

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ХИМИЯ

- Белов Д. В.**  
К вопросу о расчетах множественных химических равновесий ..... 109
- Керимова Э. С., Азизов А. А., Алосманов Р. М., Буният-заде И. А.**  
Модификация полимера для последующего использования в качестве сорбента..... 117
- Косовец А. С., Кондриков Н. Б.**  
Восстановление бронзовых деталей методом лазерной порошковой наплавки и оценка коррозии получаемого покрытия..... 120

### ИНФОРМАТИКА

- Атаманов Ю. С., Гончарук В. С., Гордеев С. Н.**  
Целостность данных в реляционной модели данных ..... 124
- Зенин А. В.**  
Анализ методов распознавания образов ..... 125
- Зенин А. В.**  
Исследование возможностей использования нейронных сетей..... 130

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Арутюнов Ю. А., Дробязко А. А., Чашин Е. А., Шашок П. А.**  
Проверка измерительных трансформаторов тока на месте их эксплуатации ..... 140
- Арутюнян К. Э., Боровик И. Г., Эйвазов А. Г.**  
Модуль подавления шумов для систем звукозаписи ..... 146
- Джураев К. С., Мукольянц А. А., Абдуалиев А. Й.**  
Технико-экономическое обоснование строительства ГАЭС в Узбекистане ..... 158

- Джураева Т. С.**  
Практичное применение натуральных и искусственных тканей в жарком климате Узбекистана ..... 162
- Долбикова А. А., Кобякова М. К., Рафальская Т. А.**  
Режимы работы систем теплоснабжения жилых микрорайонов г. Новосибирска ..... 165
- Ефимова Е. К., Аполлонова И. А.**  
Основные аспекты разработки медицинских информационных систем..... 169
- Зандер А. А., Резанов П. В., Хазбулатова К. З., Вольф А. А.**  
Повышение технологической эффективности направленного гидроразрыва пласта ..... 173
- Зандер А. А., Торяник В. Ю., Шевхужев А. Р.**  
Технологические особенности интенсификации нефтедобычи из низкопроницаемых коллекторов ..... 176
- Ибрагимов Э. И., Мирхасилова З. К.**  
Устройство для улучшения тягово-сцепных свойств колесных тракторов ..... 178
- Колесников Б. Р.**  
Формообразование твердосплавного инструмента на шлифовально-заточном центре ..... 181
- Лазуткин Е. А.**  
Исследование влияния природной пластовой воды на коррозию стальных труб, применяемых при строительстве и эксплуатации нефтедобывающих скважин (на примере Юрубчено-Тохомского месторождения) ..... 184
- Латипов С. Т.**  
Накопители электроэнергии как средство предотвращения нарушений электроснабжения ..... 187

**Латипов С. Т.**

Интенсивное энергосбережение — стратегия  
для производственного комплекса ..... 189

**Латипов С. Т.**

Автоматизации проектирования систем  
электрообеспечения ..... 190

**Морозов А. А., Гайниязов И. М.**

Сравнение алгоритмов фильтрации сырых данных  
для маркерной киберфизической системы  
захвата движений ..... 192

**Суров Л. Д., Филиппов В. В.**

Определение поврежденного участка линии  
кольцевой сети ..... 195

**Тажибаева А. К., Марасулов А. М.**

Распространение волн в цилиндрическом слое  
с жидкостью ..... 199

**Темиров И. Г.**

Исследование влияния рельефа хлопкового поля  
на работу двухъярусного плуга ..... 202

## ГЕОГРАФИЯ

**Бирюкова Д. В., Лапшова Т. А.**

Рекреационный потенциал  
Республики Крым ..... 206

## ГЕОЛОГИЯ

**Хайдаров З. Х., Рахимов Б. З., Авазов Р. Р.,  
Мирусманов М. А.**

Поисковые предпосылки и признаки золотого  
оруденения месторождения Айтым  
(горы Букантау) ..... 209

## ЭКОЛОГИЯ

**Васильева Т. В.**

О влиянии выбросов алюминиевого завода  
на содержание фторидов в почве с учетом  
некоторых климатических факторов ..... 213

**Любов М. С., Мельничук А. А., Маюрова Ю. А.**

Экологическая ситуация начала XXI века  
на территории городского округа Арзамас..... 217

**Маюрова Ю. А., Мельничук А. А.**

Природные условия Керженского заповедника  
Нижегородской области..... 220

**Перевошиков И. Е.**

Аналитические исследования и разработка  
технологии утилизации бурового шлама  
на континентальном шельфе..... 223

**Федотов Д. В.**

Изучение влияния автомобильного транспорта  
на состояние атмосферного воздуха г. Туймазы  
в районе ГАПОУ РБ «Туймазинский медицинский  
колледж» ..... 225

## ХИМИЯ

### К вопросу о расчетах множественных химических равновесий

Белов Денис Владимирович, кандидат химических наук, доцент  
Нижегородская государственная медицинская академия

Большинство химических реакций, протекающих в разбавленных растворах слабых электролитов, основаны на равновесных процессах с участием ионов. Правильный расчет физико-химических равновесий позволяет контролировать и управлять химическими реакциями, а также создавать необходимые условия для оптимального протекания технологических процессов, качественных и количественных аналитических определений.

В данной статье приведены основы математического расчета различных химических равновесий, условий и полноты протекания реакций и определения равновесных концентраций веществ в реагирующих системах.

**Ключевые слова:** химическое равновесие, равновесная концентрация, константа ионизации, слабая кислота, слабое основание, ступенчатая диссоциация, материальный баланс, фосфорная кислота, гидрат аммиака, константа автопротолиза, ионное произведение воды, гидролиз солей, константа гидролиза, произведение растворимости солей

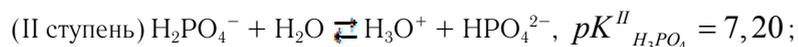
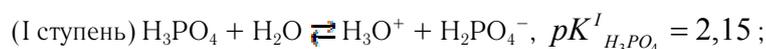
**Keywords.** Chemical equilibrium, equilibrium concentration, ionization constant, weak acid, weak base, stepwise dissociation, material balance, phosphoric acid, ammonium hydroxide, autoprotolysis constant, ionic product of water, hydrolysis of salts, hydrolysis constant, solubility product of salts.

Рассмотрение вопросов о расчете химических равновесий начнем с конкретных примеров.

**Задача 1.** Вычислить концентрацию продуктов ступенчатой диссоциации ортофосфорной кислоты в 0,1 М водном растворе. Рассчитать степень диссоциации кислоты в этом растворе.

**Решение.** В разбавленных водных растворах ортофосфорная кислота ведет себя как сильная кислота, однако только один из протонов отщепляется легко, и константа ионизации по первой ступени достаточно высокая. Вторая и третья константы ионизации последовательно снижаются на пять порядков.

Запишем уравнения ступенчатой диссоциации ортофосфорной кислоты:



Здесь и далее  $pK = -\lg K_{\text{равн}}$  — логарифмический показатель констант равновесия, а все расчеты проводятся для стандартных состояний веществ и  $t=25^\circ\text{C}$ .

С учетом всех трех стадий ступенчатой диссоциации фосфорной кислоты можно составить уравнение материального баланса. Одним из условий материального баланса является неизменность содержания определенного вида атомов (или групп атомов) в процессе химического превращения веществ в изолированной системе. Например, водород в рассматриваемой системе находится в виде гидратированных ионов  $\text{H}_3\text{O}^+$  и входит в состав ионов  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , а также электронеутральных молекул  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Математическая запись этого условия выглядит следующим образом:

$$C_n = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] = [\text{H}_3\text{O}^+] + \sum_{n=1}^3 [\text{H}_n\text{PO}_4^{m-}].$$

Баланс по числу атомов фосфора можно представить в следующем виде:

$$C_{\text{и}} = [H_3PO_4] + [H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] + [PO_4^{3-}].$$

Каждое химическое равновесие характеризуется своей константой равновесия. Для рассматриваемых случаев — это ступенчатые константы ионизации:

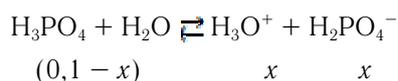
$$K^I_{H_3PO_4} = \frac{[H_3O^+][H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]} = 7,11 \cdot 10^{-3};$$

$$K^{II}_{H_3PO_4} = \frac{[H_3O^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 6,31 \cdot 10^{-8};$$

$$K^{III}_{H_3PO_4} = \frac{[H_3O^+][PO_4^{3-}]}{[HPO_4^{2-}]} = 4,22 \cdot 10^{-13}.$$

Поскольку значения  $K^I_{H_3PO_4}$  и  $K^{II}_{H_3PO_4}$  различаются приблизительно в  $10^5$  раз, концентрацию протонов можно вычислить с учетом диссоциации  $H_3PO_4$  только по первой ступени. Данное допущение не вызывает больших погрешностей расчетов, если  $K^I_{H_3PO_4}$  многоосновной кислоты превышает  $K^{II}_{H_3PO_4}$  примерно в  $10^3$  раз и более.

Предположим, что в процессе диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени образуется равное количество ионов  $H^+$  и  $H_2PO_4^-$ , а их равновесную концентрацию обозначим  $x$  моль/л. Тогда равновесная концентрация фосфорной кислоты составит  $(0,1 - x)$ , моль/л:



Подставим равновесные концентрации этих ионов в выражение для константы равновесия  $K^I_{H_3PO_4}$ :

$$K^I_{H_3PO_4} = \frac{x^2}{0,1 - x} = 7,11 \cdot 10^{-3},$$

$$\text{или } x^2 + 7,11 \cdot 10^{-3} \cdot x - 7,11 \cdot 10^{-4} = 0.$$

Решая квадратное уравнение, получаем:

$$x = [H_3O^+] = -\frac{7,11 \cdot 10^{-3}}{2} + \sqrt{\frac{(7,11 \cdot 10^{-3})^2}{4} + 7,11 \cdot 10^{-4}} = 2,33 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

В том случае, если кислота очень слабая, то  $[H^+] \ll C^0_{\text{HA}}$  и  $C^0_{\text{HA}} - [H^+] \approx C^0_{\text{HA}}$ . Равновесную концентрацию протонов в таких растворах вычисляют по следующей формуле:

$$[H^+] = \sqrt{K_{\text{HA}} \cdot C^0_{\text{HA}}}.$$

Данное допущение оправдано для кислот с  $pK \geq 4$  (при условии, что  $C^0_{\text{HA}} \gg K_{\text{HA}}$ ). Концентрация иона  $H_2PO_4^-$  практически определяется диссоциацией фосфорной кислоты по I ступени:  $[H_2PO_4^-] = [H_3O^+] = 2,33 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

Значения  $K^{II}_{H_3PO_4}$  и  $K^{III}_{H_3PO_4}$  различаются в  $10^5$  раз, поэтому концентрацию иона  $HPO_4^{2-}$  определим с учетом диссоциации кислоты по II ступени:

$$[HPO_4^{2-}] = K^{II}_{H_3PO_4} \cdot \frac{[H_2PO_4^-]}{[H_3O^+]} = K^{II}_{H_3PO_4} = 6,31 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

Концентрация аниона, образующегося в результате диссоциации слабой кислоты  $H_2A$  по II ступени, численно равна  $K^{II}$ , т. е.  $[A^{2-}] = K^{II} \cdot (H_2A)$ .

Зная равновесные концентрации ионов  $H_3O^+$  и  $HPO_4^{2-}$ , вычислим концентрацию иона  $PO_4^{3-}$ :

$$[PO_4^{3-}] = K^{III}_{H_3PO_4} \cdot \frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_3O^+]} = \frac{4,22 \cdot 10^{-13} \cdot 6,31 \cdot 10^{-8}}{2,33 \cdot 10^{-2}} = 11,43 \cdot 10^{-19} \text{ (или } 1,14 \cdot 10^{-18} \text{ моль/л.)}$$

По равновесным концентрациям продуктов диссоциации фосфорной кислоты найдем степень диссоциации ( $\alpha$ ) по всем трем ступеням:

$$\alpha_I = \frac{[H_2PO_4^-]}{C^0_{H_3PO_4}} = \frac{2,33 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 0,233 \text{ или } 23,3 \%;$$

$$\alpha_{II} = \frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = \frac{6,31 \cdot 10^{-8}}{2,33 \cdot 10^{-2}} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ или } 2,7 \cdot 10^{-4} \%$$

$$\alpha_{III} = \frac{[PO_4^{3-}]}{[HPO_4^{2-}]} = \frac{1,14 \cdot 10^{-18}}{6,31 \cdot 10^{-8}} = 0,18 \cdot 10^{-10} \text{ или } 1,8 \cdot 10^{-9} \%$$

В растворах, где  $[H_3O^+] \ll C_{HA}^0$ , степень диссоциации ( $\alpha$ ) можно определить по следующему уравнению:

$$\alpha_{HA} = \frac{[H_3O^+]}{C_{HA}^0} = \frac{\sqrt{K_{HA} \cdot C_{HA}^0}}{C_{HA}^0} = \sqrt{\frac{K_{HA}}{C_{HA}^0}}$$

Математическими расчетами были определены области преобладания частиц в водном растворе ортофосфорной кислоты в зависимости от pH среды:  $H_3PO_4$ :  $0 \leq pH \leq 2,12$ ;  $H_2PO_4^-$ :  $2,12 \leq pH \leq 7,21$ ;  $HPO_4^{2-}$ :  $7,21 \leq pH \leq 12$ ;  $PO_4^{3-}$ :  $12 \leq pH \leq 14$ .

**Задача 2.** Определите, какие продукты будут образовываться при взаимодействии ортофосфорной кислоты и гидрата аммиака в разбавленном водном растворе.

**Решение.** Для ответа на вопрос рассчитаем константу равновесия следующей реакции в предположении того, что гидрат аммиака ( $NH_3 \cdot H_2O$ ) как основание отщепляет от фосфорной кислоты сразу три протона:



С учетом закона действующих масс константу равновесия можно записать в следующем виде:

$$K_{равн} = \frac{[NH_4^+]^3 [PO_4^{3-}] [H_2O]^3}{[H_3PO_4] [NH_3 \cdot H_2O]^3} = \frac{[NH_4^+]^3 [PO_4^{3-}] [H_2O]^3 [H_3O^+]^3 [OH^-]^3}{[H_3PO_4] [NH_3 \cdot H_2O]^3 [H_3O^+]^3 [OH^-]^3}$$

$$\text{или } K_{равн} = \frac{K^3_{NH_3 \cdot H_2O} \cdot K^I_{H_3PO_4} \cdot K^{II}_{H_3PO_4} \cdot K^{III}_{H_3PO_4}}{K_w^3}$$

К данному выражению мы пришли с учетом следующих допущений:

а) в водном растворе происходит диссоциация гидрата аммиака:



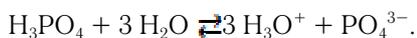
Запишем выражение для константы равновесия данной реакции:

$$K^3_{NH_3 \cdot H_2O} = \frac{[NH_4^+]^3 [OH^-]^3}{[NH_3 \cdot H_2O]^3} = (1,8 \cdot 10^{-5})^3;$$

выражение  $K_{NH_3 \cdot H_2O} = \frac{[NH_4^+] [OH^-]}{[NH_3 \cdot H_2O]}$  носит название константы диссоциации (ионизации) основания

$NH_3 \cdot H_2O$ .

б) В водном растворе происходит ионизация молекул фосфорной кислоты:



Запишем выражение для константы равновесия данной реакции с учетом выражений для констант диссоциации фосфорной кислоты по трем ступеням:

$$K_{равн} = \frac{[H_2PO_4^-] [H_3O^+] [HPO_4^{2-}] [H_3O^+] [PO_4^{3-}] [H_3O^+]}{[H_3PO_4] [H_2PO_4^-] [HPO_4^{2-}] [H_2O]^3}$$

После преобразований получаем следующее равенство:

$$K_{равн} = \frac{[H_3O^+]^3 [PO_4^{3-}]}{[H_3PO_4] [H_2O]^3} = K^I_{H_3PO_4} \cdot K^{II}_{H_3PO_4} \cdot K^{III}_{H_3PO_4},$$

$$K_{равн} = 7,11 \cdot 10^{-3} \cdot 6,31 \cdot 10^{-8} \cdot 4,22 \cdot 10^{-13} = 189,33 \cdot 10^{-24}$$

в) Вода ( $H_2O$ ) — слабый электролит и в незначительной степени подвергается ионизации. Этот процесс называется автопротолизом. Схематично его можно представить так:



Константу равновесия автопротолиза представим в следующем виде:

$$K_{равн} = \frac{[H_3O^+][OH^-]}{[H_2O]}.$$

Посредством измерения электропроводности абсолютно чистой воды было показано, что концентрации ионов  $H_3O^+$  и  $OH^-$  составляют  $10^{-7}$  моль/л, а концентрация молекул  $H_2O$  составляет  $1000/18 = 55,56$  моль/л. Отсюда была вычислена константа автопротолиза воды:

$$K_{равн} = \frac{1 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{55,56} = 1,78 \cdot 10^{-16}.$$

Диссоциация воды весьма незначительна, поэтому ее концентрацию считают практически неизменной, и выражение для константы диссоциации воды можно представить в следующем виде:

$$K_{H_2O} = [H_3O^+][OH^-] = 1,00 \cdot 10^{-14}.$$

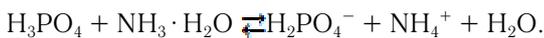
Иными словами, произведение концентрации ионов, образующихся в процессе диссоциации воды — есть величина постоянная при данной температуре ( $25^\circ C$ ), и данная константа называется ионным произведением воды  $K_w$ .

С учетом приведенных выше уточнений (а — в) рассчитаем константу равновесия реакции:

$$K_{равн} = \frac{K^3_{NH_3 \cdot H_2O} \cdot K^I_{H_3PO_4} \cdot K^{II}_{H_3PO_4} \cdot K^{III}_{H_3PO_4}}{K_w^3} = \frac{(1,8 \cdot 10^{-5})^3 \cdot 189,33 \cdot 10^{-24}}{(1,00 \cdot 10^{-14})^3} = 1,1 \cdot 10^6.$$

Величина  $K_{равн}$  служит характеристикой необратимости реакции в данных условиях. Так, если значение  $K_{равн}$  очень велико, то это означает, что при равновесии, концентрации продуктов реакции намного превышают концентрации исходных веществ, и реакция прошла почти до конца, — слева направо.

Предположим, что гидрат аммиака отщепляет от фосфорной кислоты один протон. Рассчитаем константу равновесия данной реакции с учетом представленных выше допущений.



$$K_{равн} = \frac{[H_2PO_4^-][NH_4^+][H_2O]}{[H_3PO_4][NH_3 \cdot H_2O]} = \frac{[H_2PO_4^-][NH_4^+][H_2O][H_3O^+][OH^-]}{[H_3PO_4][NH_3 \cdot H_2O][H_3O^+][OH^-]} = \frac{K^I_{H_3PO_4} \cdot K_{NH_3 \cdot H_2O}}{K_w},$$

$$K_{равн} = \frac{7,11 \cdot 10^{-3} \cdot 1,80 \cdot 10^{-5}}{1,00 \cdot 10^{-14}} = 12,8 \cdot 10^6.$$

Расчет показал, что химическое равновесие существенно смещено вправо, и реакция в стандартных условиях идет до конца, поскольку значение константы равновесия этой реакции также достаточно велико ( $K_{равн} \gg 1$ ).

Пусть на следующей стадии процесса происходит отщепление второго протона. Рассчитаем вероятность этого процесса и сравним с рассмотренными случаями.

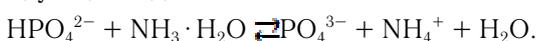


$$K_{равн} = \frac{[HPO_4^{2-}][NH_4^+][H_2O]}{[H_2PO_4^-][NH_3 \cdot H_2O]} = \frac{[HPO_4^{2-}][NH_4^+][H_2O][H_3O^+][OH^-]}{[H_2PO_4^-][NH_3 \cdot H_2O][H_3O^+][OH^-]} = \frac{K^{II}_{H_3PO_4} \cdot K_{NH_3 \cdot H_2O}}{K_w},$$

$$K_{равн} = \frac{6,31 \cdot 10^{-8} \cdot 1,80 \cdot 10^{-5}}{1,00 \cdot 10^{-14}} = 113,6.$$

Расчет показывает, что данная стадия также термодинамически вероятна, поскольку значение константы равновесия положительное, и равновесие существенно смещено вправо, однако величина константы равновесия на пять порядков ниже. Это свидетельствует о меньшей вероятности протекания данного процесса по сравнению с предыдущей реакцией.

Наконец, если предположить отщепление третьего протона на следующей стадии, то реакцию можно представить в следующем виде:

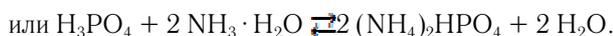


$$K_{равн} = \frac{[PO_4^{3-}][NH_4^+][H_2O]}{[HPO_4^{2-}][NH_3 \cdot H_2O]} = \frac{[PO_4^{3-}][NH_4^+][H_2O][H_3O^+][OH^-]}{[HPO_4^{2-}][NH_3 \cdot H_2O][H_3O^+][OH^-]} = \frac{K^{III}_{H_3PO_4} \cdot K_{NH_3 \cdot H_2O}}{K_w},$$

$$K_{равн} = \frac{4,22 \cdot 10^{-13} \cdot 1,80 \cdot 10^{-5}}{1,00 \cdot 10^{-14}} = 7,6 \cdot 10^{-4}.$$

Величина константы равновесия данной реакции свидетельствует о ее неполном прохождении. Равновесие существенно смещено влево.

Таким образом, взаимодействие фосфорной кислоты с гидратом аммиака в основном протекает по схемам:



**Задача 3.** Рассчитайте концентрации ионов  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{PO}_4^{3-}$  в растворе, в котором общая концентрация фосфат-ионов  $C_n^0$  составляет 0,5 моль/л, а pH раствора равен 5.

**Решение.** Зная pH раствора, находим концентрацию протонов:  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-5}$  моль/л.

Для любого слабого электролита состава  $\text{AH}_n$  с учетом уравнения материального баланса (например, по числу атомов А) и выражений констант равновесия (пусть  $n=2$  и диссоциация  $\text{AH}_n$  идет по двум ступеням), после несложных математических преобразований можно записать следующее выражение для концентрации  $C_{\text{AH}_2}$ :

$$C_{\text{AH}_2} = [\text{AH}_2] \cdot \left\{ 1 + \frac{K_1}{[\text{H}_3\text{O}^+]} + \frac{K_1 \cdot K_2}{[\text{H}_3\text{O}^+]^2} \right\} = [\text{AH}_2] \cdot \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 + K_1 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] + K_1 \cdot K_2}{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}.$$

Если  $\alpha_{\text{AH}_2}$  – доля недиссоциированных молекул, то с учетом выражения для  $C_{\text{AH}_2}$ , получим:

$$\alpha_{\text{AH}_2} = \frac{[\text{AH}_2]}{C_{\text{AH}_2}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 + K_1 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] + K_1 \cdot K_2}.$$

Доли продуктов диссоциации не зависят от общей концентрации электролита, а зависят от концентрации ионов  $\text{H}_3\text{O}^+$  — через константы диссоциации — от природы электролита. Поэтому, если известен pH раствора, то легко можно рассчитать концентрации продуктов диссоциации.

Для любого слабого электролита состава  $\text{AB}_n$  можно написать общее выражение знаменателя в формуле для расчета долей продуктов диссоциации ( $\alpha$ ):

$$[\text{B}]^n + K_1 \cdot [\text{B}]^{n-1} + K_1 \cdot K_2 \cdot [\text{B}]^{n-2} + \dots + K_1 \cdot K_2 \dots K_{n-1} \cdot [\text{B}] + K_1 \cdot K_2 \dots K_n.$$

Например, долю ионов  $\text{AB}_{n-2}$  можно определить по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{AB}_{n-2}} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot [\text{B}]^{n-2}}{[\text{B}]^n + K_1 \cdot [\text{B}]^{n-1} + K_1 \cdot K_2 \cdot [\text{B}]^{n-2} + \dots + K_1 \cdot K_2 \dots K_n}.$$

Если из выражений констант ступенчатой диссоциации фосфорной кислоты выразить концентрации соответствующих ионов ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) и подставить в выражение материального баланса по атомам фосфора, то можно получить следующее уравнение для истинной концентрации фосфорной кислоты  $C_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ :

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = \frac{K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}_3\text{O}^+]}, \quad [\text{HPO}_4^{2-}] = \frac{K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}_3\text{O}^+]^2},$$

$$[\text{PO}_4^{3-}] = \frac{K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{III}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}_3\text{O}^+]^3};$$

$$C_{\text{H}_3\text{PO}_4} = [\text{H}_3\text{PO}_4] + \frac{K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} + \frac{K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}_3\text{O}^+]^2} + \frac{K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{III}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}_3\text{O}^+]^3}$$

Если перед нами встала задача определения мольной доли, например, фосфорной кислоты, оставшейся в недиссоциированном (молекулярном) состоянии, нам необходимо найти отношение концентрации частиц  $[\text{H}_3\text{PO}_4]$  к суммарной концентрации всех частиц  $C_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ :

$$\alpha_0 = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4]}{C_{\text{H}_3\text{PO}_4}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^3}{[\text{H}_3\text{O}^+]^3 + K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2 + K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] + K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{III}_{\text{H}_3\text{PO}_4}}.$$

Вернемся к нашему примеру. Зная значения констант диссоциации фосфорной кислоты аналогичным образом определим долю ионов, образующихся по первой ступени ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ):

$$\alpha_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} = \frac{K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{H}_3\text{O}^+]^3 + K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2 + K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] + K^I_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{II}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot K^{III}_{\text{H}_3\text{PO}_4}};$$

$$\alpha_{H_2PO_4^-} = \frac{7,11 \cdot 10^{-3} \cdot (10^{-5})^2}{(10^{-5})^3 + 7,11 \cdot 10^{-3} \cdot (10^{-5})^2 + 7,11 \cdot 10^{-3} \cdot 6,31 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-5} + 7,11 \cdot 10^{-3} \cdot 6,31 \cdot 10^{-8} \cdot 4,22 \cdot 10^{-13}};$$

$$\alpha_{H_2PO_4^-} = 0,99.$$

Тогда концентрацию ионов  $H_2PO_4^-$  определим следующим образом:

$$[H_2PO_4^-] = \alpha_{H_2PO_4^-} \cdot C_n^0 = 0,99 \cdot 0,5 = 0,495 \text{ моль/л.}$$

Доля ионов, образующихся по второй ступени, определяется по выведенной выше формуле и после подстановки соответствующих значений составит  $\alpha_{PO_4^{3-}} = 3,3 \cdot 10^{-10}$ . Концентрацию ионов  $PO_4^{3-}$  определим аналогично:

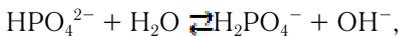
$$[PO_4^{3-}] = \alpha_{PO_4^{3-}} \cdot C_n^0 = 3,3 \cdot 10^{-10} \cdot 0,5 = 16,5 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л.}$$

**Задача 4.** Определить pH 0,1 М водных растворов ортогидрофосфата и ортофосфата натрия с учетом процесса гидролиза солей. Возможно ли растворение цинка в данных растворах?

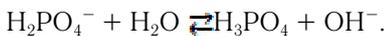
**Решение.** а) Соль  $Na_2HPO_4$  в водном растворе диссоциирована практически полностью:



Гидрофосфат-ион ( $HPO_4^{2-}$ ) подвергается гидролизу по первой ступени в соответствии со следующей схемой:



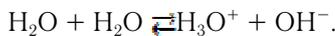
далее дигидрофосфат-ион подвергается гидролизу по второй ступени:



Запишем выражения для констант гидролиза и определим их значения:

$$K_{гидр}^I = \frac{[H_2PO_4^-][OH^-]}{[HPO_4^{2-}]} = \frac{[H_2PO_4^-][OH^-] \cdot [H_3O^+]}{[HPO_4^{2-}][H_3O^+]} = \frac{K_w}{K_{H_3PO_4}^{II}} = \frac{10^{-14}}{6,31 \cdot 10^{-8}} = 1,6 \cdot 10^{-7},$$

где  $K_{H_3PO_4}^{II} = \frac{[HPO_4^{2-}][H_3O^+]}{[H_2PO_4^-]}$ , так как  $H_2PO_4^- + H_2O \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + H_3O^+$ , а  $K_w = [H_3O^+][OH^-]$ , так как

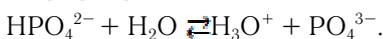


$$K_{гидр}^{II} = \frac{[H_3PO_4][OH^-]}{[H_2PO_4^-]} = \frac{[H_3PO_4][OH^-] \cdot [H_3O^+]}{[H_2PO_4^-][H_3O^+]} = \frac{K_w}{K_{H_3PO_4}^I} = \frac{10^{-14}}{7,11 \cdot 10^{-3}} = 1,4 \cdot 10^{-12}.$$

В данных расчетах, как и в предыдущих мы использовали следующий прием: умножили числитель и знаменатель дроби на концентрацию ионов  $H_3O^+$ , тем самым пришли к выражениям для константы ионизации и константы автопротолиза.

$K_{гидр}^I$  превышает  $K_{гидр}^{II}$  практически в  $10^5$  раз, поэтому гидролизом по второй ступени можно пренебречь.

Гидрофосфат-ион ( $HPO_4^{2-}$ ) диссоциирует в водном растворе по следующей схеме:



Для данного процесса запишем выражение для константы равновесия:

$$K_{H_3PO_4}^{III} = \frac{[H_3O^+][PO_4^{3-}]}{[HPO_4^{2-}]}.$$

Протоны, появляющиеся в результате диссоциации гидрофосфат-ионов, реагируют с  $OH^-$ -ионами, образующимися при гидролизе  $HPO_4^{2-}$ -иона. Учитывая, что  $[H_3O^+] = [PO_4^{3-}]$  и  $[OH^-] = [H_2PO_4^-]$ , равновесная концентрация протонов в растворе  $Na_2HPO_4$  определяется разностью  $[H_3O^+] = [PO_4^{3-}] - [H_2PO_4^-]$  или  $[OH^-] = [H_2PO_4^-] - [PO_4^{3-}]$ .

Выразим концентрацию ионов  $H_2PO_4^-$  и  $PO_4^{3-}$  через константы равновесий реакций гидролиза и диссоциации иона  $H_2PO_4^-$ :

$$[H_2PO_4^-] = \frac{K_w}{K_{H_3PO_4}^{II}} \cdot \frac{[HPO_4^{2-}]}{[OH^-]},$$

$$[PO_4^{3-}] = K_{H_3PO_4}^{III} \cdot \frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_3O^+]}.$$

Из ионного произведения воды следует, что  $[H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]}$ , поэтому после подстановки соотношение примет следующий вид:

$$[H_2PO_4^-] = \frac{[H_3O^+][HPO_4^{2-}]}{K''_{H_3PO_4}}.$$

Теперь, зная концентрации фосфат- и дигидрофосфат-ионов, определим равновесную концентрацию протонов:

$$[H_3O^+] = K'''_{H_3PO_4} \cdot \frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_3O^+]} - \frac{[HPO_4^{2-}][H_3O^+]}{K''_{H_3PO_4}}.$$

Далее, после преобразований получаем следующее уравнение:

$$[H_3O^+] = \sqrt{\frac{K'''_{H_3PO_4} \cdot K''_{H_3PO_4} [HPO_4^{2-}]}{K''_{H_3PO_4} + [HPO_4^{2-}]}} ,$$

где  $K''_{H_3PO_4} = 6,31 \cdot 10^{-8}$ ; она намного меньше концентрации ионов  $HPO_4^{2-}$  и практически равна начальной концентрации соли  $Na_2HPO_4$ , т. е. 0,1 моль/л. Поэтому сумма упрощается:  $K''_{H_3PO_4} + [HPO_4^{2-}] \approx [HPO_4^{2-}]$ , и уравнение примет следующий вид:

$$[H_3O^+] = \sqrt{\frac{K'''_{H_3PO_4} \cdot K''_{H_3PO_4} \cdot [HPO_4^{2-}]}{[HPO_4^{2-}]}} = \sqrt{K'''_{H_3PO_4} \cdot K''_{H_3PO_4}} .$$

В итоге, величину pH можно определить следующим образом:

$$pH = \frac{pK'''_{H_3PO_4} + pK''_{H_3PO_4}}{2} .$$

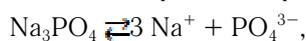
По данной формуле рассчитаем величину pH в 0,1 М растворе  $Na_2HPO_4$ :

$$pH = \frac{12,37 + 7,20}{2} = 9,79 .$$

Аналогично можно показать, что в растворе соли  $NaH_2PO_4$  pH вычисляется по формуле:

$$pH = \frac{pK^I_{H_3PO_4} + pK''_{H_3PO_4}}{2} .$$

б) Рассчитаем pH 0,1 М раствора  $Na_3PO_4$ . Здесь приведем упрощенный расчет. В данном случае также после диссоциации соли протекает протолиз аниона:



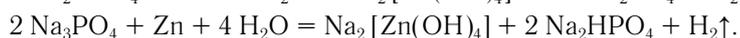
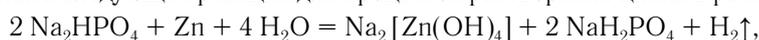
Запишем выражение для константы равновесия:

$$K_{равн} = \frac{[HPO_4^{2-}][OH^-]}{[PO_4^{3-}]} = \frac{[OH^-]^2}{[PO_4^{3-}]} ,$$

откуда  $pH = -\lg[H_3O^+] = 14 + \lg[OH^-] = 14 + \lg \sqrt{K_{равн} \cdot [PO_4^{3-}]} = 14 + \lg \sqrt{\frac{K_w \cdot [PO_4^{3-}]}{K'''_{H_3PO_4}}}$ ,

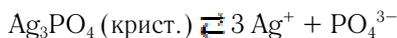
$$pH = 14 + \lg \sqrt{\frac{1,0 \cdot 10^{-14} \cdot 1,0 \cdot 10^{-1}}{4,22 \cdot 10^{-13}}} = 14 + \lg \sqrt{0,24 \cdot 10^{-2}} = 14 - 1,3 = 12,7 .$$

Высокие значения pH среды в данных растворах (0,1 М  $Na_2HPO_4$  pH=9,8; 0,1 М  $Na_3PO_4$  pH=12,7) свидетельствуют о сильнощелочной среде. В задаче стоял вопрос о растворимости цинка в этих растворах. Основываясь на знании химических свойств цинка, в частности, его способности взаимодействовать с растворами щелочей, можно предложить следующие реакции для процессов растворения цинка в растворах  $Na_2HPO_4$  и  $Na_3PO_4$ :



**Задача 5.** Вычислить без учета гидролиза и с учетом гидролиза произведение растворимости фосфата серебра  $PP_{Ag_3PO_4}$ , если растворимость этой соли в воде при комнатной температуре равна  $4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Вычислить pH насыщенного раствора  $Ag_3PO_4$ .

**Решение.** В насыщенном растворе  $Ag_3PO_4$  существует равновесие:



$$3 \cdot 4,68 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л} \quad 4,68 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

а) Если растворимость соли составляет  $4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/л, то в соответствии с уравнением процесса, но без учета гидролиза получим следующее:  $[PO_4^{3-}] = 4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/л, а  $[Ag^+] = 3 \cdot [PO_4^{3-}] = 3 \cdot 4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

По этим данным вычислим  $PP_{Ag_3PO_4}$ :

$$PP_{Ag_3PO_4} = [Ag^+]^3 [PO_4^{3-}] = (3 \cdot 4,68 \cdot 10^{-6})^3 \cdot (4,68 \cdot 10^{-6}) = 1,3 \cdot 10^{-20}.$$

Справочная величина составляет:  $PP_{Ag_3PO_4} = 1,8 \cdot 10^{-18}$ .

б) Вычислим  $PP_{Ag_3PO_4}$  с учетом процесса гидролиза фосфата серебра.

Образующийся при растворении в воде  $Ag_3PO_4$  ион  $PO_4^{3-}$  подвергается гидролизу:



Пусть подверглось гидролизу  $x$  моль/л иона  $PO_4^{3-}$ , а образовалось в результате гидролиза по  $(4,68 \cdot 10^{-6} - x)$  моль/л ионов  $HPO_4^{2-}$  и  $OH^-$ , соответственно.

Запишем выражение для константы гидролиза:

$$K_{гидр} = \frac{[HPO_4^{2-}][OH^-]}{[PO_4^{3-}]} = \frac{[HPO_4^{2-}][OH^-] \cdot [H_3O^+]}{[PO_4^{3-}] \cdot [H_3O^+]} = \frac{K_w}{K_{III}^{H_3PO_4}} = \frac{10^{-14}}{4,22 \cdot 10^{-13}} = 0,237 \cdot 10^{-1}.$$

Гидролиз иона  $PO_4^{3-}$  по первой ступени при концентрации  $4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/л протекает практически полностью, поэтому за наименьшую равновесную концентрацию  $x$  принимаем равновесную концентрацию ионов  $PO_4^{3-}$ , т. е.  $[PO_4^{3-}] = x$ ,  $[HPO_4^{2-}] = [OH^-] = 4,68 \cdot 10^{-6} - x$ , моль/л.

Подставим равновесные концентрации в выражение для константы гидролиза:

$$\frac{(4,68 \cdot 10^{-6} - x)^2}{x} = 2,37 \cdot 10^{-2}.$$

Допустим, что  $4,68 \cdot 10^{-6} - x \approx 4,68 \cdot 10^{-6}$ . Тогда  $2,37 \cdot 10^{-2} \cdot x = (4,68 \cdot 10^{-6})^2$  и  $x = 9,24 \cdot 10^{-10}$  моль/л. Эта величина достаточно мала и в приближенных расчетах ей можно пренебречь.

Следовательно,  $[OH^-] \approx 4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/л и  $pH = 14 + \lg 4,68 \cdot 10^{-6} = 8,67$ .

Гидролиз  $Ag_3PO_4$  по катиону протекает незначительно. Константа гидролиза  $Ag^+$  очень мала ( $K_{Ag^+}^{гидр} = 2 \cdot 10^{-12}$ ). При  $[Ag^+] = 3 \cdot 4,68 \cdot 10^{-6} = 1,4 \cdot 10^{-5}$  моль/л и  $[OH^-] = 4,68 \cdot 10^{-6}$  моль/л концентрация  $AgOH$  составит:  $[AgOH] = \beta_{AgOH} [Ag^+] [OH^-] = 2 \cdot 10^2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 4,68 \cdot 10^{-6} = 1,31 \cdot 10^{-8}$  моль/л, т. е. всего около 0,1 % от начальной концентрации ионов  $Ag^+$ . Здесь  $\beta$  — общая константа устойчивости  $AgOH$ , которая определяет следующее равновесие:



$$\beta_{AgOH} = \frac{[AgOH]}{[Ag^+][OH^-]}.$$

Следовательно, поправка к pH, учитывающая гидролиз соли по катиону в насыщенном растворе  $Ag_3PO_4$ , невелика.

Рассчитаем значение произведения растворимости соли с учетом гидролиза:

$$PP_{Ag_3PO_4} = [Ag^+]^3 [PO_4^{3-}] = (3 \cdot 4,68 \cdot 10^{-6})^3 \cdot (9,20 \cdot 10^{-10}) = 2,55 \cdot 10^{-24}.$$

Данное значение существенно отличается от величины, найденной без учета гидролиза соли.

На простых примерах мы убедились, что расчет химических равновесий с применением простейших алгебраических алгоритмов и приемов, позволяет предсказать принципиальную возможность (вероятность) протекания химической реакции, а также сделать вывод о влиянии тех или иных факторов на смещение химического равновесия с целью достижения необходимого положительного эффекта процесса. На основании значений констант химического равновесия конкурентно протекающих реакций можно сделать вывод о преобладающем значении той или иной реакции в общем массиве термодинамически вероятных процессов.

## Литература:

1. Гольбрайх, З. Е., Маслов Е. И. Сборник задач и упражнений по химии: Учебное пособие для хим.-технол. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1997.
2. Михайлов, В. А. Химическое равновесие: учебное пособие / В. А. Михайлов, О. В. Сорокина, Е. В. Савинкина, М. Н. Давыдова; Под ред. А. Ю. Цевадзе. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
3. Сборник вопросов и задач по аналитической химии. Учебное пособие для вузов / В. П. Васильев, В. Е. Калинина, Л. А. Кочергина и др. Под ред. В. П. Васильева. — М.: Высш. шк., 1976.

## Модификация полимера для последующего использования в качестве сорбента

Керимова Эллада Сабир кызы, диссертант;  
Азизов Абдулсаид Абдулгамид оглы, доктор химических наук, профессор;  
Алосманов Расим Мирали оглы, доктор химических наук, профессор;  
Буният-заде Ирада Айдын кызы, кандидат химических наук, научный сотрудник  
Бакинский государственный университет (Азербайджан)

Синтетические органические сорбенты, благодаря своей доступности и производству в промышленных масштабах, находят все более широкое применение. Кроме того, они часто являются отходами производства. Открыто-ячеистая структура и высокая олеофильность этих материалов обеспечивают эффективность их использования в качестве сорбентов.

Цель настоящей работы — в лабораторных условиях провести химическую модификацию — окислительное хлорфосфорилирование промышленных образцов каучуков (в данном случае ДССК) для последующего использования в качестве сорбентов. Окислительное хлорфосфорилирование проведено в соответствии с методикой, описанной в работе [1]. Модификация каучуков указанным способом приводит к образованию объемно-пористых продуктов коричневого или темно-коричневого цвета.

В работе использовали бутадиен-стирольный каучук Марки ДССК (характеристика бутадиен-стирольного каучука указана в табл. 1.), фосфор треххлористый, кислород (осушали, пропуская через концентрированную серную кислоту), четыреххлористый углерод (использовали без дополнительной очистки (х. ч.)). ИК-спектр показывает, что полосы  $795\text{--}760\text{ см}^{-1}$  отвечают связанным с углеродом атомам хлора (рис. 1).

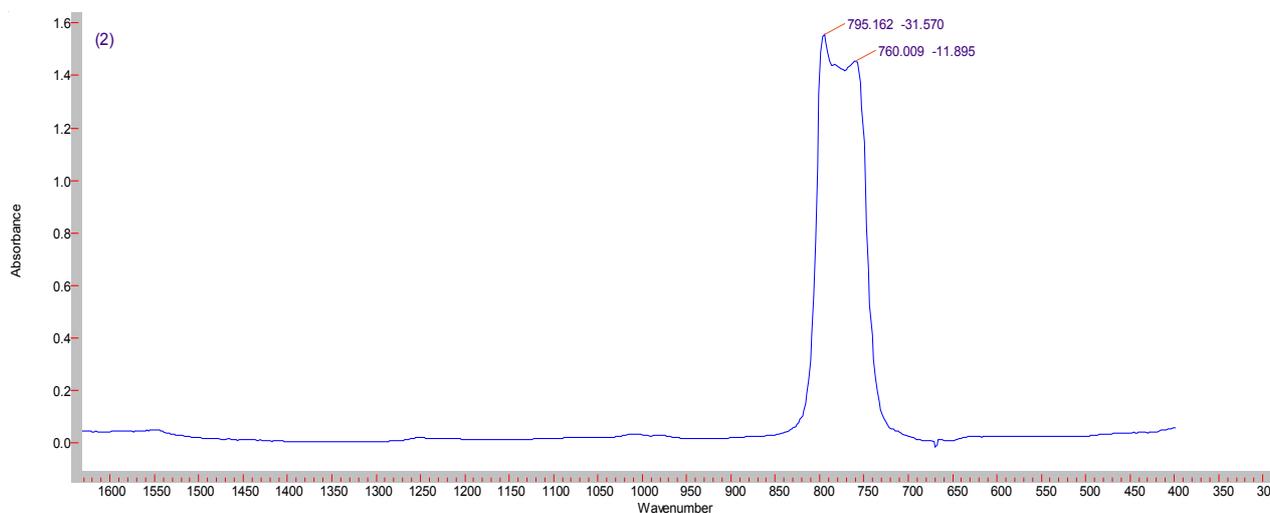


Рис. 1. ИК-спектр четыреххлористого углерода —  $\text{CCl}_4$

Таблица 1

Наименование показателей	Значение показателя	
	1 группа	2 группа
Вязкость по Муни, МБ 1+4 (1000С)	45–55	56–65
Массовая доля антиоксиданта, %		
ВТС-150	1,2–1,8	1,2–1,8
Или С-789 (Ал Сиб)	0,2–0,4	0,2–0,4
Массовая доля связанного стирола, %	23–27	23–27
Массовая доля золы, %, не более	0,3	0,3
Потери массы при сушке, %, не более	0,5	0,5
Условная прочность при растяжении, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее	17,0 / (174)	17,0 (174)
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	360	360
Массовая доля 1,2 звеньев (на бутадиеновую часть цепи), %	45–55	45–55
Массовая доля масла, %	25–29	25–29
Условное напряжение при 300% удлинении, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее	8,0 (82)	8,0 (82)

Для определения СОЕ было взято три навески полученного сорбента в количестве, соответствующем 0,1 г сухого продукта и 20 мл 0,1 раствора NaOH, и выдерживали 24 часа, периодически взбалтывая. Образцы оставляют на 24 часа. После этого сорбент отфильтровывали, отбирали 5 мл пипеткой фильтрат и титровали 0,1 н раствором HCl в присутствии 1 % спиртового раствора фенолфталеина. Величину статической объемной ёмкости СОЕ (мг-экв/г) рассчитывали по формуле:

$$\text{СОЕ} = \frac{(200F - 40VF_1) * 0,004 * 1000}{40g} = \frac{20F - 4VF_1}{10g}$$

где F — поправочный коэффициент 0,1 н раствора NaOH;

V — объем 0,1 н раствора HCl, израсходованного на титрование, мл;

F<sub>1</sub> — поправочный коэффициент 0,1 н раствора HCl;

40 — молекулярный вес NaOH;

0,004 — титр 0,1 н раствора NaOH;

g — навеска сорбента, г.

$$\text{СОЕ} = \frac{(20 * 1,02 - 4 * 2,067 * 1) * 0,004 * 1000}{40 * 0,1} = \frac{20 * 1,02 - 4 * 2,067}{10 * 0,1} = 12,132$$

Были получены ИК-спектры поглощения растворителя (четырёххлористый углерод), бутадиен-стирольного каучука и модифицированного ДССК на ИК-спектрометре марки Varian 640 — IR в средней ИК-области 2,5–25 микрон, волновое число 4000–400 см<sup>-1</sup>. ИК-спектр бутадиен-стирольного каучука получен в виде тонкой пленки, нанесенной на подложку KRS-5. Толщина слоя d=10–50 микрон. ИК-спектр модификата был получен в виде таблеток твердого раствора KBr (1:200) путем прессования под давлением P=200 кг/см<sup>2</sup>. Толщина таблетки 0,7 см.

В ИК-спектре бутадиен-стирольного каучука (рис. 2) полосы 3030 см<sup>-1</sup> и 1600–1500 см<sup>-1</sup> показывают присутствие ароматической группы (бензольного кольца), характер замещения определяется по сильному поглощению ниже 900 см<sup>-1</sup>. Полоса поглощения 1490–1460 см<sup>-1</sup> показывает наличие двойной связи в макромолекуле полимера [2].

В результате модификации был получен объемно-пористый продукт темно-коричневого цвета, гидрофобный и обладающий хорошей плавучестью после сорбции нефти. Был сделан ИК-спектр полученного модификата (рис. 3). В ИК-спектре модифицированного ДССК полосы поглощения 1050–1030 см<sup>-1</sup> отвечают атому фосфора, связанному с алкильной частью полимера через кислород. Полосы поглощения 1240–1190 см<sup>-1</sup> показывают присоединение фосфора через кислород к ароматической части полимера. В полимерах связанная OH-группа дает сигнал в области 3400–3200 см<sup>-1</sup>. Для твердых веществ наблюдается только одна широкая полоса. Полоса поглощения 1720 см<sup>-1</sup> соответствует группе -СО-О-, присоединенной к ароматической части полимера, а также к участкам полимера, содержащим двойные связи. Первый обертоп ν<sub>С=О</sub> (около 1720 см<sup>-1</sup>) также лежит при 3500–3400 см<sup>-1</sup>, но отличается низкой интенсивностью [2].

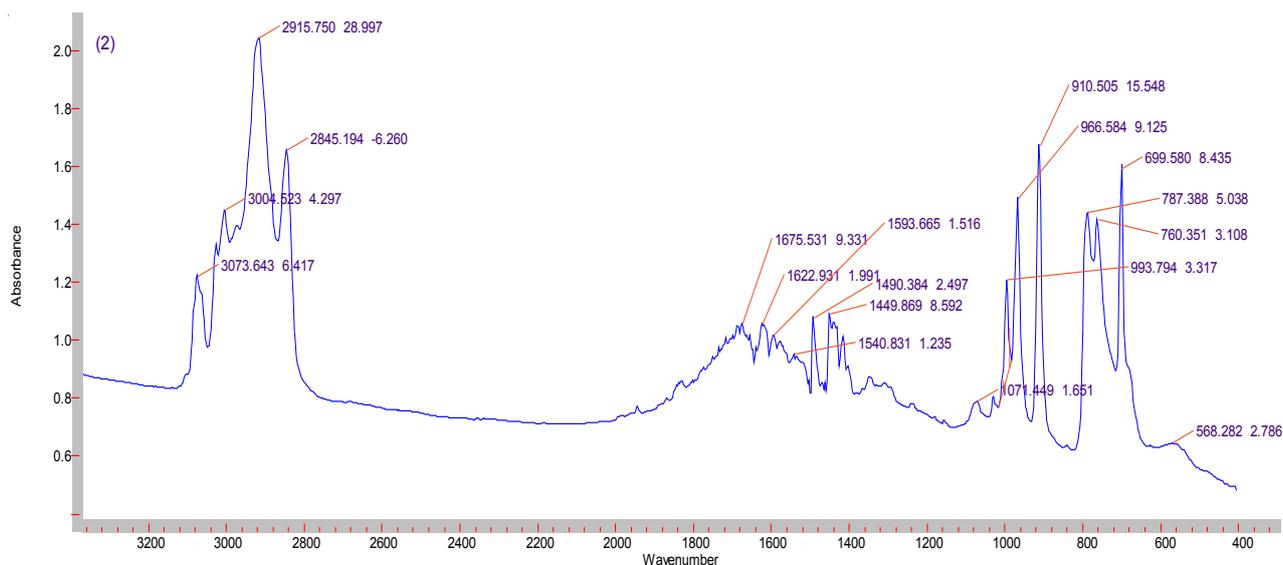


Рис. 2. ИК-спектр бутадиен-стирольного каучука

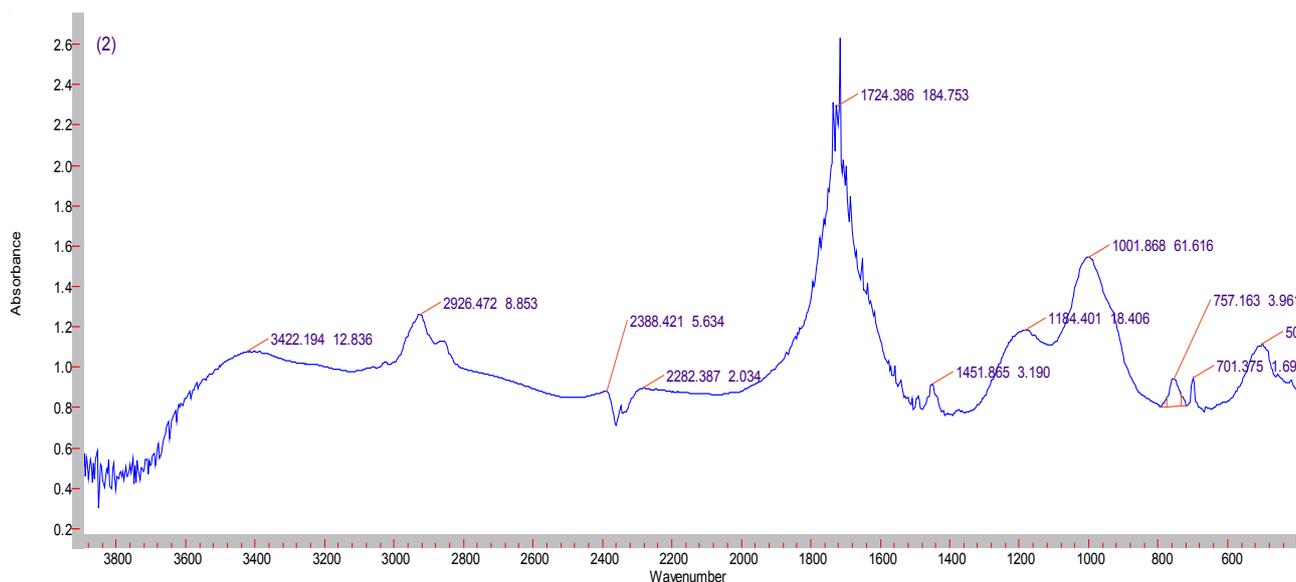


Рис. 3. ИК-спектр модифицированного ДССК

Полученный модификат в дальнейшем можно использовать в качестве сорбента для сорбции ионов металлов, тонких нефтяных пленок, микроорганизмов.

Литература:

1. Магеррамов, А. М, Алосманов Р. М., Меликова А. Я. Фосфохлорирование полибутадиена фосфор (III) хлоридом в присутствии кислорода. Изв. вузов. Химия и химическая технология, 2003, т. 46, № 6, с. 25–27.
2. Наканиси, К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. Москва: Мир, 1965, 32–68 с.

## Восстановление бронзовых деталей методом лазерной порошковой наплавки и оценка коррозии получаемого покрытия

Косовец Александра Степановна, аспирант;

Кондриков Николай Борисович, доктор химических наук, профессор, научный руководитель  
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

**В**осстановление изношенных деталей и узлов машин для их дальнейшего использования позволяет значительно сократить расходы, связанные с заменой этих частей, а также сократить потери металла при переплавке этих деталей. Для восстановления деталей применяют такие методы как напыление металлов и сплавов, восстановление путем электролитического нанесения, ручная и механизированная наплавка и сварка.

Лазерная порошковая наплавка является перспективным методом для обработки различных деталей, выполненных из разнообразных металлов и сплавов. Сущность метода заключается в образовании ванны расплава на поверхности обрабатываемого материала при воздействии лазерного луча с одновременным добавлением в ванну расплава присадочного материала в виде порошка или проволоки. При использовании этого метода становится возможным восстановление детали и защита детали при помощи нанесения покрытия либо модификации поверхности с целью увеличения механической прочности, коррозионной и химической стойкости, увеличение жаропрочности и т. д. [1]

Среди преимуществ метода лазерной порошковой наплавки стоит особо выделить возможность восстановления крупногабаритных деталей, пришедших в негодность вследствие механических нагрузок и эксплуатации в агрессивных средах, обработка локальных зон (восстановление зубцов, режущих кромок, краевых участков и т. д.), малые зоны термического влияния за счет быстрых циклов нагрева/охлаждения и локального воздействия лазерного луча, а также высокую адгезию материала наплавки к основе при небольшой глубине проплавления материала основы [2].

Покрытия, получаемые методом лазерной порошковой наплавки, характеризуются повышенными по сравнению с материалом основы твердостью, износостойкостью и сопротивлением к коррозии. Основной причиной этого является получение мелкокристаллической микроструктуры покрытия за счет быстрых процессов нагрева и охлаждения при воздействии лазерного луча. Однако, так как процесс наплавки зависит от многих факторов (скорость подачи и состав присадочного материала, мощность излучения, диаметр лазерного луча, скорость движения лазерного луча по материалу и т. д.) не представляется возможным предсказать свойства получаемого покрытия [1–3].

Благодаря высокой коррозионной стойкости в морской воде, многие сплавы на основе меди используются как материал для деталей и узлов судов, контактирующих с морской водой (гребные винты, детали судовых рулей, раз-

личные задвижки и клапаны). Валы и гребные винты, выполненные из бронз, являются важными и крайне дорогостоящими деталями.

Во время эксплуатации бронзовых гребных винтов, лопасти винта страдают от коррозии и эрозии материала. Коррозия лопасти достигает 20 мм в глубину, при этом глубина проникновения коррозии всегда выше в местах ремонтной наплавки, а также зоне термического влияния вследствие сварочных напряжений, образующихся в ходе ремонта [4]. Использование метода лазерной порошковой наплавки для ремонта лопастей гребных винтов, теоретически позволит избежать повешенной коррозионной активности в зоне ремонта, а также увеличить срок службы лопастей за счет увеличения коррозионной стойкости и твердости покрытия, что снизит эрозию материала.

Увеличение коррозионной стойкости бронз, используемых в качестве материалов лопастей гребных винтов, при воздействии на поверхность лазерного излучения, было продемонстрировано в работах [5–6]. В качестве материала для исследования использовалась никель-алюминиевая бронза, которая подвергалась лазерному плавлению поверхностного слоя с целью улучшения механических и физико-химических свойств. Так было показано, что после лазерной обработки увеличивается стойкость к кавитационной эрозии и твердость на поверхности [5]. Полученная в ходе исследований структура была более гомогенная, наблюдалось значительное уменьшение зерен до размеров в пределах нескольких микрометров и, как следствие, уменьшение кавитационной эрозии материала в 2,2 раза по сравнению с необработанной поверхностью [6].

Целью работы было исследование коррозионных свойств покрытий из бронзы, полученных методом лазерной порошковой наплавки, в сравнении с материалами основы.

Для исследования коррозионных свойств покрытия из бронзы БрАЖНМц 8.5–4–5–1.5 и бронзы БрАМц 9–2 (данные о химическом составе см. в таблице 1), полученных методом лазерной порошковой наплавки, были изготовлены образцы наплавленного покрытия при помощи комплекса лазерной порошковой наплавки, оснащенного волоконным лазером и коаксиальной подачей порошкового материала в среде аргона, параметры процесса указаны в таблице 2.

В качестве материала подложки, использовались металлические пластины, выполненные из бронз БрОЦ 10–2, БрОЦ 8–4 и БрАМц 9–2.

Таблица 1. Химический состав наплавляемых порошковых материалов

Марка порошка	Химический состав, %											
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	Si	C	P	Zn	Pb	Sn	Sb
БрАЖНМц 8.5–4–5–1.5	основа	8.53	3.82	4.85	1.34	0.2	0.0088	0.02	0.23	-	-	-
БрАЖНМц 8.5–1.5–5–1.5	основа	8.5	1.45	5.15	1.43	0.1	0.0034	0.05	0.01	-	-	-
БрАМц 9–2	основа	9.0	0.45	-	1.8	0.1	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Таблица 2. Параметры лазерной порошковой наплавки в зависимости от наплавляемого материала

Марка порошкового материала	Мощность лазерного излучения, (Вт)	Шаг наплавки, (мм)	Скорость наплавки (скорость перемещения лазерного луча), (мм/с)	Характер лазерного излучения
БрАЖНМц 8.5–1.5–5–1.5	1000	0.6	10	непрерывный
БрАЖНМц 8.5–4–5–1.5	1000	0.6	10	непрерывный
БрАМц 9–2	900	0.6	10	непрерывный

Коррозионные свойства наплавленного материала и материала основы были исследованы в 3%-ном мас. растворе NaCl в электрохимической ячейке плоского типа PAR K0235 (Princeton Applied Research, США), вспомогательный электрод был выполнен из платины, электрода сравнения — хлоридсеребряный.

Площадь рабочего электрода составляла 1 см<sup>2</sup>. В ходе экспериментов определялся потенциал коррозии и плотность тока коррозии методом экстраполяции кривой Та-

феля. Измерения и расчеты производили используя электрохимический измерительный комплекс Autolab (Metrohm Autolab, Голландия) и программное обеспечение NOVA. Полученные данные были использованы для расчёта скорости коррозии согласно методики ASTM G102–89 [7]. Характерная кривая поляризации показана на рисунке 1.

В таблице 3 представлены результаты по скорости коррозии наплавленной бронзы БрАЖНМц 8.5–4–5–1.5 и скорости коррозии материала основы, бронз БрОЦ 8–4 и

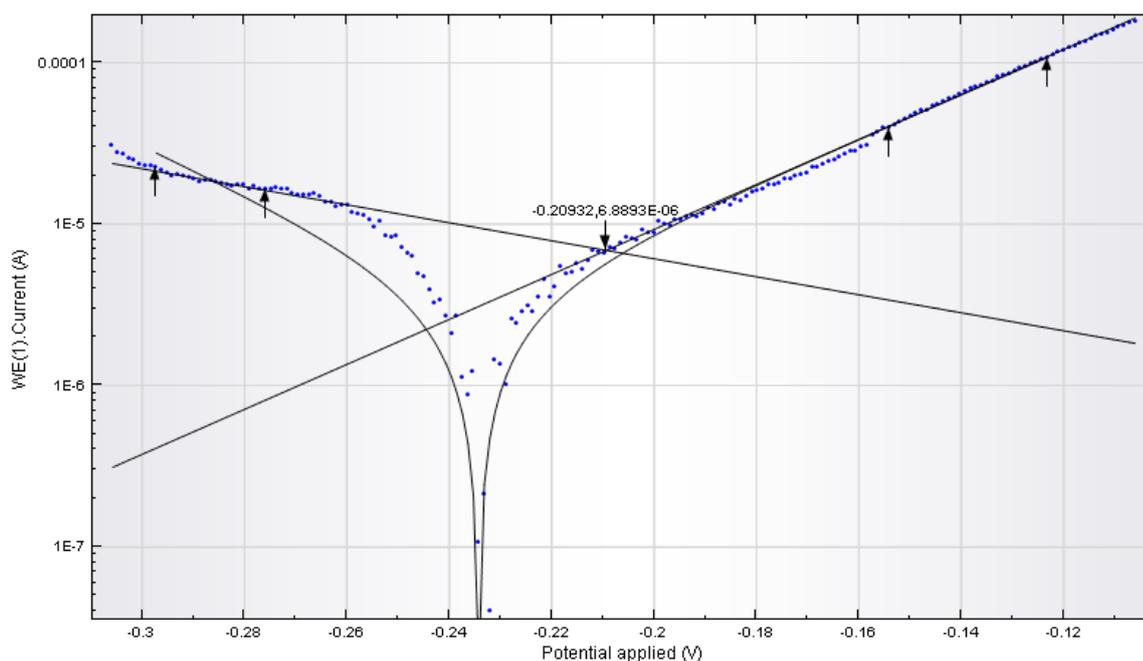


Рис. 1. Поляризационная кривая бронзы с графическим определением наклона прямых Тафеля и построенной кривой согласно уравнению Батлера-Фольмера

Таблица 3. Коррозионные свойства наплавленной бронзы БрАЖНМц 8.5–4–5–1.5 и бронзы основы БрОЦ 8–4 и БрОЦ 10–2.

Образец	Среднее значение плотности тока коррозии, $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Скорость коррозии
БрАЖНМц 8.5–4–5–1.5, наплавленная	6,4569	0,073 мм/год 1,5 г/м <sup>2</sup> ·сутки
БрОЦ 8–4, основа	7,8215	0,097 мм/год 2,3 г/м <sup>2</sup> ·сутки
БрОЦ 10–2, основа	7.7266	0,1 мм/год 2,3 г/м <sup>2</sup> ·сутки

Таблица 4. Коррозионные свойства наплавленной бронзы БрАЖНМц 8.5–1.5–5–1.5 и БрАМц 9–2 и бронзы основы БрАМц 9–2.

Образец	Среднее значение плотности тока коррозии, $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Скорость коррозии
БрАЖНМц 8.5–1.5–5–1.5, наплавленная	9,1807	0,95 мм/год 2,13 г/м <sup>2</sup> ·сутки
БрАМц 9–2, наплавленная	1,09781	0,12 мм/год 0,25 г/м <sup>2</sup> ·сутки
БрАМц 9–2, основа	6,0911	0,68 мм/год 1,42 г/м <sup>2</sup> ·сутки

БрОЦ 10–2. Как видно из таблицы, наплавленный слой менее подвержен коррозии, чем материал основы.

В таблице 4 представлены результаты по скорости коррозии наплавленной бронзы БрАЖНМц 8.5–1.5–5–1.5 и бронзы БрАМц 9–2 и скорости коррозии материала основы, бронзы БрАМц 9–2. Как видно из таблицы, наплавленный слой бронзы БрАМц 9–2 менее подвержен коррозии, чем материал основы. Но использование в качестве присадочного материала бронзы БрАЖНМц 8.5–1.5–5–1.5, демонстрирующего скорость коррозии выше, чем материал основы, приведет к ускоренному разрушению восстановленной зоны.

Как видно из полученных данных, лазерная порошковая наплавка алюминиевой бронзы БрАЖНМц 8.5–4–5–1.5 на детали, выполненные из оловянистых бронз БрОЦ 10–2 и БрОЦ 8–4 не приведет к увеличению коррозии на-

плавленных участков по сравнению с материалом с материалом основы. В случае применения лазерной порошковой наплавки на детали, выполненные из бронзы БрАМц 9–2, нежелательно использование в качестве присадочного материала бронзы БрАЖНМц 8.5–1.5–5–1.5, так как скорость коррозии наплавленного материала превышает скорость коррозии материала основы. Также наблюдается значительное уменьшение скорости коррозии и плотности тока коррозии наплавленной бронзы БрАМц 9–2 по сравнению с литейной бронзой основы БрАМц 9–2.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (постановление П218, договор № 02. G25.31.0116 от 14.08.2014 г. между Открытым акционерным обществом «Центр судоремонта «Дальзавод»» и Министерством образования и науки Российской Федерации).

#### Литература:

- Leyens, C Innovations in laser cladding and direct laser metal deposition / C. Leyens, E. Beyer // Laser Surface Engineering / Woodhead Publishing; edited by J.R. Lawrence, C. Dowding, D. Waugh and J.B. Griffiths. — Cambridge: Elsevier, 2015. — pp. 181–192.
- Nowotny, S Coatings by Laser Cladding / S. Nowotny, L–M. Berger, J. Spatzier // Comprehensive Hard Materials / Woodhead Publishing; edited by V.K. Sarin. — Cambridge: Elsevier, 2014. — pp. 507–525.
- Chandler, K. Non-ferrous metals and alloys / K. Chandler // Marine and Offshore Corrosion / Butterworth & Co — Cambridge: Elsevier, 1985. — pp. 116–140.
- ОСТ 5.9782–2004. Винты гребные из сплавов на медной основе. Исправление дефектов и повреждений.
- Cottam, R. The role of microstructural characteristics in the cavitation erosion behaviour of laser melted and laser processed Nickel — Aluminium Bronze/ R. Cottam, V. Luzin, H. Moody, D. Edwards, A. Majumdar, Y.C. Wong, J. Wang, M. Brandt // Wear. — 2014. — № 317. — pp. 56–63.

6. Tang, C. H. Improvement in cavitation erosion resistance of a copper-based propeller alloy by laser surface melting / C. H. Tang, F. T. Cheng, H. C. Man. // *Surface and Coatings Technology*. — 2004. — № 182. — pp. 300–307.
7. ASTM G102–89 (2015) e1, Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

# ИНФОРМАТИКА

## Целостность данных в реляционной модели данных

Атаманов Юрий Сергеевич, студент;

Гончарук Владимир Сергеевич, студент;

Гордеев Сергей Николаевич, студент

Научный руководитель: Сухомлинов Анатолий Иванович, профессор  
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

Неформально выражаясь, ограничение целостности — это логическое выражение, связанное с некоторой базой данных, результатом вычисления которого всегда должно быть значение TRUE. Подобное ограничение может рассматриваться как формальное выражение некоторого бизнес-правила (иногда ограничение целостности также и называют бизнес-правилом) используют в качестве. Пример бизнес-правил: «если сумма заказа составляет свыше 200 тыс. руб., скидка составляет 15%», «каждая поставка выполняется существующим поставщиком», «разные поставщики не могут иметь одинаковые номера поставщиков». и т. п.

Очевидно, что ограничения должны быть формально объявлены для СУБД, после чего СУБД должна предписывать их выполнение. Объявление ограничений сводится просто к использованию соответствующих средств языка базы данных, а соблюдение ограничений осуществляется с помощью контроля со стороны СУБД над операциями обновления, которые могут нарушить эти ограничения, и запрещения тех операций, которые их действительно нарушают.

Безусловно, при первоначальном объявлении ограничения система должна проверить, удовлетворяет ли ему в настоящий момент база данных. Если это условие не соблюдается, ограничение должно быть отвергнуто; в противном случае оно принимается и начиная с этого момента соблюдается.

В общем, ограничения целостности представляют собой ограничения, налагаемые на значения, которые разрешено принимать некоторой переменной, или комбинации переменных. Поэтому тот факт, что конкретная переменная относится к некоторому определенному типу, представляет собой априорное ограничение, налагаемое на рассматриваемую переменную (это ограничение состоит в том, что значения, которые может принимать данная переменная, должны, безусловно, быть значениями этого типа). Например, переменная отношения  $N\_student$  (номер студента) ограничивается тем,

что должна содержать значения, являющиеся отношениями, в которых каждое значение  $N\_student\#$  представляет собой номер поставщика (значение типа  $N\_student\#$ ), каждое значение  $Name\_student$  является именем (значением типа NAME) и т. д. Но эти простые априорные ограничения, безусловно, не остаются единственными возможными. Например, возраст человека не может превышать какого-то определённого порога, а также не может быть отрицательным. Например, в БД работников фирмы возраст сотрудника должен принимать значения от 18 до 100.

Для дальнейшего обсуждения введём понятия предиката и высказывания. Предикатом называется любое логическое выражение, в которой значение переменных неопределенны (то есть узнать результат вычисления логического выражения невозможно). Например, «А — это В» является предикатом, а А и В — это формальные параметры этого предиката. Когда данный предикат конкретизируется, то есть вместо А и В подставляются конкретные значения, то данное выражение называется высказыванием, а определённые переменные — фактическими параметрами. Например, «солнце — это звезда», «луна — это звезда». Какое-то из этих высказываний оказывается ложным (FALSE), а какое-то истинным (TRUE).

Можно сделать следующие выводы: ограничение, определенное формально, становится предикатом, но при проверке этого ограничения вместо формальных параметров предиката подставляются фактические параметры, в результате чего предикат сводится к высказыванию, и к такому высказыванию затем предъявляется требование, чтобы его значение было равно TRUE.

Введем понятие предиката переменной отношения. Предположим, что  $R$  — переменная отношения. В таком случае предикатом переменной отношения  $R$  является результат применения логической операции «И», или операции конъюнкции ко всем ограничениям, которые распространяются на переменную отношения  $R$ . Это же

понятие можно расширить на всю базу данных, то есть необходимо строго задавать, в какой части (или везде) БД будет проверяться заданное ограничение.

Теперь допустим, что  $R$  — переменная отношения, а  $RP$  — предикат переменной отношения для  $R$ . Итак, безусловно, ни в коем случае нельзя допускать, чтобы переменная  $R$  приобретала такое значение, что его подстановка в  $RP$  вместо  $R$  (а также любая другая необходимая подстановка фактических параметров вместо формальных параметров, которая должна быть выполнена в  $RP$ ), становилась причиной того, чтобы предикат  $RP$  принимал значение FALSE. Итак, теперь мы можем ввести золотое правило (первую версию), которое имеет большое значение при анализе ограничений целостности: «ни одна операция обновления не должна приводить к присваиванию любой переменной отношения такого значения, которое вызывает то, что предикат этой переменной отношения получает значение FALSE».

Как было показано выше, каждая переменная отношения имеет предикат переменной отношения, а вся база данных имеет предикат базы данных. Безусловно, все рассматриваемые предикаты являются такими, о которых «в системе имеется информация». Это означает, что по-

добные предикаты определены формально (т. е. они фактически входят в состав определения базы данных), кроме того, их соблюдение контролируется системой. По этим причинам иногда удобно называть рассматриваемые предикаты внутренними предикатами, поскольку переменные отношения и базы данных в принципе имеют также внешние предикаты, описание которых приведено ниже.

Первое и наиболее важное замечание состоит в том, что внутренние предикаты — это формальные конструкции, тогда как внешние предикаты — просто неформальные конструкции. Внутренние предикаты являются описанием того, что означают данные для системы; в отличие от этого, внешние предикаты описывают, что означают данные для пользователя. Безусловно, пользователи должны знать не только о внешних предикатах, но и о внутренних, однако еще раз повторим, что система должна иметь информацию о внутренних предикатах (и действительно быть способной учитывать лишь внутренние предикаты). Можно фактически неформально утверждать, что любой внутренний предикат представляет собой аппроксимацию в системе соответствующего внешнего предиката.

#### Литература:

1. Дейт, К.Дж. Введение в системы баз данных, 8-е издание: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 1328 с.
2. Целостность базы данных // Википедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Целостность\\_базы\\_данных](https://ru.wikipedia.org/wiki/Целостность_базы_данных) (дата обращения: 16.04.2017).

## Анализ методов распознавания образов

Зенин Алексей Владимирович, магистрант

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Существует множество методов распознавания образов на изображениях. Понимание данных методов важно для решения различного рода задач.

Во-первых, важно понимание теории распознавания образов. Основными терминами являются:

Класс — множество объектов, имеющие общие свойства. Классов может быть неограниченное количество.

Классификация — процесс назначения меток класса объектам, согласно некоторому описанию свойств этих объектов.

Классификатор — устройство, которое в качестве входных данных получает набор признаков объекта, а в качестве результата выдающий метку класса.

Верификация — процесс сопоставления экземпляра объекта с одной моделью объекта или описанием класса.

Признак — количественное описание того или иного свойства исследуемого предмета или явления.

Пространство признаков — это  $N$ -мерное пространство, определенное для данной задачи распознавания, где  $N$  — фиксированное число измеряемых признаков для любых объектов. Вектор из пространства признаков  $x$ , соответствующий объекту задачи распознавания это  $N$ -мерный вектор с компонентами  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$ , которые являются значениями признаков для данного объекта.

Таким образом, вся задача распознавания сводится к выделению существенных признаков для каждого класса и, в конечном итоге, отнесение входных данных к одному из них посредством обнаружения ключевых признаков в исходном изображении. То есть распознавание образов можно разделить на несколько задач, таких, как:

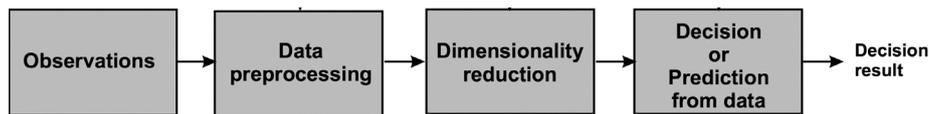


Рис. 1. Этапы задачи распознавания

1. Получение входных данных, с помощью сенсоров, камер видеонаблюдения, подборок данных.

2. Первичная обработка изображений такая, как нормализация данных, фильтрация шумов, выявление признаков.

3. Формирование векторов признаков, посредством выбора наиболее значимых признаков, с помощью которых можно выделить непересекающиеся множества классов.

4. Классификация или предсказание на основе полученных данных о классах.

Данные этапы представлены на рисунке 1.

Примерами задач классификации являются:

- распознавание символов;
- распознавание речи;
- установление медицинского диагноза;
- прогноз погоды;
- распознавание лиц
- классификация документов и др.

Например, рассмотрим 2 класса объектов: небоскреб и загородный дом. В качестве признаков можно выбрать высоту и материалы (дерево или стекло). Как следует из рисунка ( $x_1$ -высота,  $x_2$ -материалы), эти два класса образуют два непересекающихся множества. Однако не всегда удастся выбрать правильные измеряемые параметры в качестве признаков классов. Например выбранные параметры не подойдут для создания непересекающихся классов офиса и жилого здания.

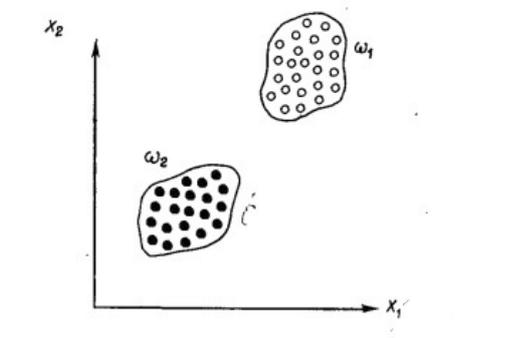


Рис. 2. Евклидово пространство признаков двух классов

Таким образом — первая проблема распознавания — нахождение таких признаков, которые четко разделяют пространство на классы.

Следующей задачей распознавания является исключение межклассовых признаков, которые не несут в себе никакой полезной информации для классификации и

только создают избыточную нагрузку на вычислительные ресурсы.

Далее необходимо выявить оптимальную решающую процедуру. Так как на данном этапе мы имеем  $n$  классов и измерительные векторы для каждого из них, то задачу можно свести к построению границ, разделяющих классы.

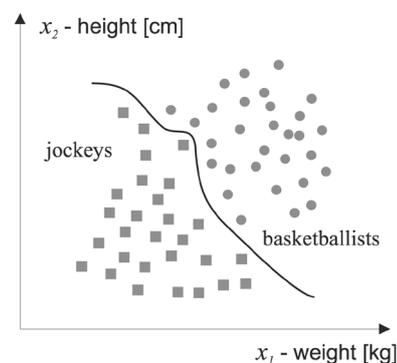


Рис. 3. Границы, разделяющие классы в евклидовом пространстве

Сравнение объектов можно производить на основе их представления в виде векторов измерений. Данные измерений удобно представлять в виде вещественных чисел. Тогда сходство векторов признаков двух объектов может быть описано с помощью евклидова расстояния.

$$\|x_1 - x_2\| = \sqrt{\sum_{i=1,d} (x_1[i] - x_2[i])^2}$$

Разделяют 3 группы методов распознавания образов:

— Сравнение с образцом. К этой группе относятся структурные методы и методы, использующие приближение и расстояние (классификации по ближайшему среднему и по расстоянию до ближайшего соседа.)

— Статистические методы. Примером этой группы служит байесовский метод принятия решения. Статистические методы основаны на вычислении вероятности.

— Нейронные сети. Отдельный класс методов распознавания. В отличие от других методов, нейронные сети способны обучаться уже в процессе распознавания и обладают хорошим потенциалом развития.

Далее рассмотрим различные методы, относящиеся к разным группам.

Метод 1. Классификация по ближайшему среднему значению

В классическом подходе к системам распознавания вектор признаков, характеризующий каждый класс, получается в следствие обучения системы и известен заранее или на основе каких-либо моделей предсказывается в режиме реального времени.

Один из самых простых алгоритмов классификации использует вектор математического ожидания класса (среднее значение).

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1, n_i} x_{i,j}$$

$x_{i,j}$  — j-й эталонный признак класса i,  $n_j$  — количество эталонных векторов класса i.

Следовательно, неизвестный объект будет относиться к классу i, если он существенно ближе к вектору математического ожидания класса i, чем к векторам математических ожиданий других классов. Такой метод применим, когда точки признаков расположены очень кучно и далеко от точек других классов.



Рис. 4. Классификация по ближайшему среднему значению

Ниже приведен пример ситуации, когда данный метод не будет работать. Как видно, класс 2 разделен на два непересекающихся множества признаков, а класс 3 слишком вытянут, что приводит к ситуации, когда его удаленные точки ближе к среднему значению другого класса, нежели к его собственному среднему значению.

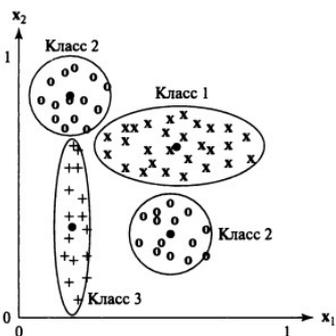


Рис. 5. Недостатки метода классификации по ближайшему среднему значению

Описанная проблема в некоторых случаях может быть решена изменением расчета расстояния.

Будем учитывать характеристику «разброса» значений класса  $-\sigma_i$ , вдоль каждого координатного направления i. Среднеквадратичное отклонение равно квадратному корню из дисперсии. Шкалированное евклидово расстояние между вектором x и вектором математического ожидания  $x_c$  равно

$$\|x - x_c\| = \sqrt{\sum_{i=1, d} \left(\frac{x[i] - x_c[i]}{\sigma_i}\right)^2}$$

Эта формула расстояния позволяет уменьшить количество ошибок классификации, но на деле большинство задач не удается представить таким простым классом.

Метод 2. Классификация по расстоянию до ближайшего соседа

Этот метод относит неизвестный вектор признаков к классу, отдельные образцы которого находятся ближе всех. Такие образцы называются ближайшими соседями. При классификации по ближайшему соседу не требуется знать моделей распределения классов в пространстве, необходима только информация об эталонных образцах.

Принцип работы алгоритма построен на определении минимального расстояния до образца признака из базы данных. Так же решение можно улучшить, если искать среди соседей. Для классификации каждого из объектов тестовой выборки необходимо последовательно выполнить следующие операции:

- Вычислить расстояние до каждого из объектов обучающей выборки
- Отобрать k объектов обучающей выборки, расстояние до которых минимально
- Класс классифицируемого объекта — это класс, наиболее часто встречающийся среди k ближайших соседей

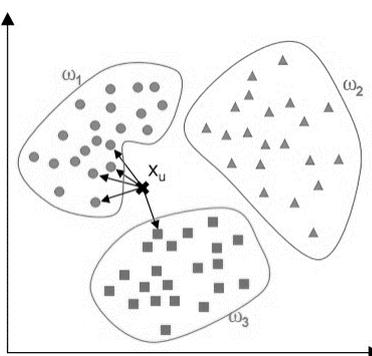


Рис. 6. Классификация по расстоянию до ближайшего соседа

Преимущества такого подхода очевидны:

- в любой момент можно добавить новые образцы в базу данных;

— древовидные и сеточные структуры данных позволяют сократить количество вычисляемых расстояний.

Данный алгоритм — один из простейших алгоритмов классификации, поэтому на реальных задачах он зачастую оказывается неэффективным. Помимо точности классификации, проблемой этого классификатора является скорость классификации: если в обучающей выборке  $N$  объектов, в тестовом выборе  $M$  объектов, а размерность пространства —  $K$ , то количество операций для классификации тестовой выборки может быть оценено как  $O(K \cdot M \cdot N)$ .

Метод 3. Структурный.

Такой метод распознавания применяется для объектов, которые можно структурно разделить на составляющие. Так же важно, чтобы при распознавании система нашла такие признаки, которые точно позволяют сказать, что объект относится к этому классу и к никакому другому.

Как пример использования, можно привести задачу распознавания начертательных символов или фигур.

Второе название этого метода — синтаксический, так как он подразумевает использование языка описания образов, который структурно описывает каждый элемент и подэлемент, структурно разделяя образ на подобразы. Метод будет полезен для распознавания сложных образов, состоящих из многих образов более низкого, простого уровня.

На рисунке 7 показан пример структурного распознавания двух различных геометрических фигур. В рамках такого подхода распознавания образов считается, что они состоят из отдельных подобразов, соединенных различными способами.

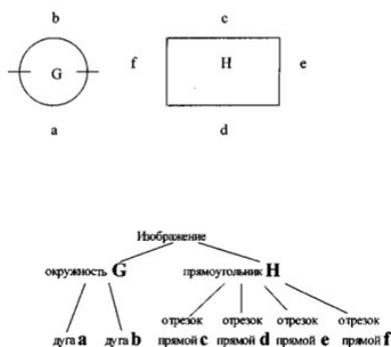


Рис. 7. Структурный метод распознавания

Таким образом круг состоит из двух дуг, а прямоугольник из четырех отрезком прямых. Данная классификация позволяет однозначно определить принадлежность объекта к одному из классов.

Метод 4. Байесовский подход к принятию решения

Данный метод основан на теореме Байеса и определении априорных вероятностей, то есть вероятность исходов или принадлежности объекта определенному классу изменяется после получения новых экспертных оценок (подтверждения наличия новых признаков).

Появление того или иного образа является случайным событием и вероятность этого события можно описать с помощью закона распределения вероятностей многомерной случайной величины в той или иной форме. Зная элементы обучающей выборки можно восстановить вероятностные характеристики этой среды.

Байесовский классификатор на основе наблюдаемых признаков относит объект к классу, к которому этот объект принадлежит с наибольшей вероятностью. Как уже отмечалось, в основе метода лежит теорема Байеса. Предположим, что мы рассматриваем некоторую случайную величину  $X$ , которая имеет плотность вероятности  $p(x, w)$  с параметром  $w$ . Но нам нужно получить данные о другой случайной величине  $w$ , имеющей некоторое распределение вероятности  $\tau(w)$ . Пусть в результате наблюдений получены статистические данные  $x$ . Из определения условной вероятности следует:

$$Pr(w|x) = \frac{Pr(x, w)}{Pr(x)}$$

Так же из этого же определения следует, что:

$$Pr(x, w) = Pr(x|w)Pr(w)$$

Подставив второе выражение в первое получим формулу Байеса

$$Pr(w|x) = \frac{Pr(x|w)Pr(w)}{Pr(x)}$$

Для нашей задачи имеется  $m$  классов, т. е.  $m$  возможных переменных  $(w_1 \dots w_m)$ , соответственно формула Байеса примет вид:

$$Pr(w_i|x) = \frac{Pr(x|w_i)Pr(w_i)}{Pr(x)} = \frac{Pr(x|w_i)Pr(w_i)}{\sum_{k=1..m} Pr(w_k)Pr(x|w_k)}$$

Распределение  $Pr(w)$  называют априорным распределением вероятностей возможных значений  $w$ . Данное распределение известно прежде, чем будут получены статистические данные, то есть новые признаки (экспертные оценки).

Распределение  $Pr(w_i|x)$  — апостериорное распределение значений  $w$ , при условии получения статистических данных. Здесь  $w_i$  — гипотеза, а  $x$  — свидетельство, поддерживающее гипотезу. Если все классы  $w_i$  характеризуются собственными несовместными вероятностями, охватывающими все возможные случаи, то можно применить правило Байеса для вычисления апостериорных вероятностей каждого класса по априорным вероятностям этих классов и распределениям условной вероятности для  $x$ .

На практике необходимо каким-то образом обеспечить вычисление  $Pr(x|w_i)$ . Эмпирический подход предполагает разбиение диапазона  $x$ , на интервалы, затем подсчет частот появления  $x$  среди значений каждого интервала и построение гистограммы на основе этих измерений.

Обычно используется распределения Пуассона, экспоненциальное и нормальное.

Непрерывная случайная величина  $X$  имеет нормальный закон распределения (закон Гаусса) с параметрами  $\mu$  и  $\sigma^2$ , если ее плотность вероятности имеет вид:

$$p(x) = N(\mu, \sigma)(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Пример распределения Гаусса для различных параметров  $\mu$  и  $\sigma$  показан ниже

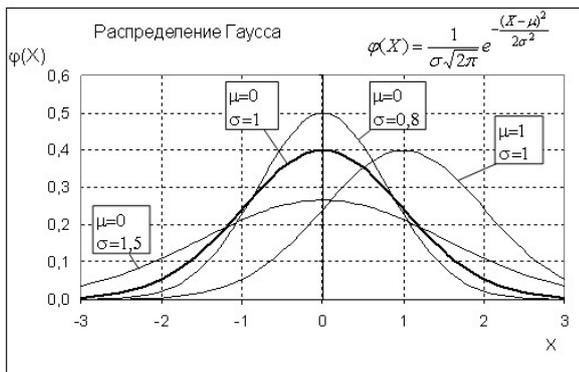


Рис. 8. Нормальное распределение Гаусса

Приведем пример использования теоремы Байеса для распознавания образов:

Предположим, что есть выборка апельсинов. Какова вероятность того, что  $m$ -й апельсин, который не принадлежит нашей выборке будет вкусным, при условии того, что мы измерили размер и цвет? В теории вероятностей данную предпосылку можно записать так, используя теорему Байеса:

$$p(Y = 1|X = x_m) = \frac{p(X = x_m|Y = 1)p(Y = 1)}{p(X = x_m)}$$

В данной формуле  $X$  — посылка, а  $Y$  — следствие. Переход от посылки к следствию подчиняется вероятностным законам, то есть принимает значения от 0 до 1. Рассмотрим правую часть этого выражения более подробно.  $p(Y = 1)$  — априорная вероятность, которая обозначает возможность встретить вкусный апельсин среди всех возможных. Априорная вероятность встретить невкусный апельсин —  $p(Y = 0) = 1 - p(Y = 1)$ . Мы можем оценить априорную вероятность исходя из статистики, например нам известно, что по прошлому опыту 50% апельсинов вкусные.  $p(X = x_m|Y = 1)$  — показывает, насколько вероятно получить конкретное значение цвета и размера для апельсина класса 1, данная вероятность может быть представлена в виде нормального закона распределения. Это выражение так же называется функцией правдоподобия.  $p(X = x_m)p(X = x_m)$  — знаменатель нужен для того, чтобы искомая вероятность изменялась в пределах 0 и 1.

Наше решение зависит от тех параметров, которые мы знаем. Например, мы можем знать только значения априорной вероятности, а остальные значения оценить не-

возможно. Тогда решающее правило будет такое — ставить всем апельсинам значение того класса, для которого априорная вероятность наибольшая. Таким образом, если мы знаем, что 80% всех апельсинов в природе вкусные, то мы ставим всем апельсинам класс 1, наша вероятность ошибки будет 20%. Если же мы все же сможем подсчитать значение функции правдоподобия, то и сможем найти значение искомой вероятности по формуле Байеса. Решение здесь будет таким — поставить метку того класса, для которого вероятность  $p(Y = 1|X = x_m)$  — максимальна.

Таким образом недостаток данного метода заключается в том, что в нашем случае мы представляем объект парой чисел — цвет и размер, но в более сложных задачах размерность признаков может быть в разы выше и для оценки вероятности многомерной случайной величины может не хватить числа наблюдений из списка с историческими данными.

### Метод 5. Нейронные сети

Нейронные сети позволяют решать широкий круг задач и представляют из себя структуру из нескольких слоев — искусственных нейронов (вычислительных элементов) и связей между ними. Структура имитирует структуру и свойства организации нервной системы живых организмов. Нейросеть получает на вход набор сигналов и на выходе выдает соответствующий ответ (выходные сигналы), которые описывают решение некоторой задачи. Ниже представлена схема нейросети:

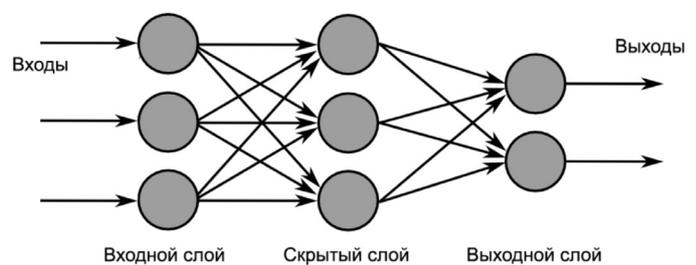


Рис. 9. Структура нейронной сети

Чтобы описать принцип работы сети, представим искусственный нейрон, схема которого изображена ниже:

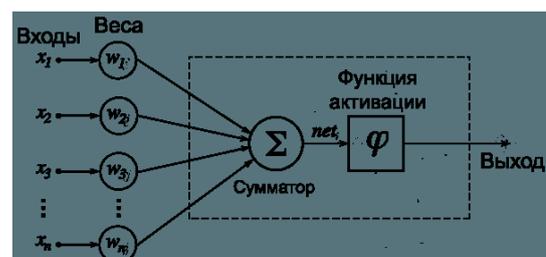


Рис. 10. Структура искусственного нейрона

Соответственно на каждый нейрон входного слоя поступает сигнал, который умножается на соответствующий

ему вес. Функция активации представляет собой либо пороговое значение, передающее на выход единичный сигнал, либо сигмоидальной функцией, которая преобразовывает значение суммы всех пришедших сигналов, в число, находящееся в диапазоне от 0 до 1.

Таким образом на выходе сети получается вероятностное значение, похожее на результат метода Байеса.

По сравнению с линейными методами статистики, нейросети позволяют эффективно строить нелинейные зависимости, более точно описывающие наборы данных. Что же касается байесовского классификатора, строящего квадратичную разделяющую поверхность, нейронная сеть может построить поверхность более высокого порядка. Высокая нелинейность разделяющей поверхности наи-

вного байесовского классификатора (он не использует ковариационные матрицы классов, как классический Байес, а анализирует локальные плотности вероятности) требует значительного суммарного числа примеров для возможности оценивания вероятностей при каждом сочетании интервалов значений переменных — тогда как нейросеть обучается на всей выборке данных, не фрагментируя её, что повышает адекватность настройки сети.

В данной статье были изучены методы, применяемые для распознавания изображений. Автор пришел к выводу, что выбор метода в первую очередь зависит от исходной задачи, однако нейронные сети являются наиболее перспективным направлением в данный момент и покрывают наибольшее количество задач.

#### Литература:

1. Местецкий, Л. В. Математические методы распознавания образов. Курс лекций.. — М.:, 2004. — 85 с.
2. Пару слов о распознавании образов // Хабрахабр.
3. URL: <https://habrahabr.ru/post/208090/>.
4. Л. П. Попова, И. О. Датьев. Обзор существующих методов распознавания образов. — М.: Сборник научных трудов, 2007. — 11 с.
5. R. Polikar. Pattern Recognition. — Glassboro, New Jersey:., — 21 с. R. Duin, E. Pekalska. Pattern Recognition

## Исследование возможностей использования нейронных сетей

Зенин Алексей Владимирович, студент

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В данной статье рассматриваются теоретические основы нейронных сетей, исследование их видов и описание их математической модели. Целью данной статьи является исследование возможностей использования нейронных сетей.

Нейронная сеть — вычислительная или логическая схема, построенная из однородных процессорных элементов, являющихся упрощенными функциональными моделями нейронов.

Из определения ясно, что нейронная сеть представляет из себя упрощенную модель человеческого мозга. Наш мозг, как и любая биологическая нейронная сеть, состоит из совокупности нейронов. Строение биологического нейрона показано на рисунке 1.

Биологический нейрон — чрезвычайно сложная система, которая помимо своего основного назначения (обработки информации) выполняет еще и задачи, связанные с его жизнеобеспечением. Нам же необходима упрощенная модель, которая принимает сигнал, обрабатывает и передает его дальше. Такую структуру называют упрощенной моделью биологического нейрона или искусственным нейроном, она показана на рисунке 2.

Из определения искусственного нейрона следует понятие ИНС (искусственной нейронной сети) — совокуп-

ность взаимодействующих между собой искусственных нейронов.

Нейроны соединены между собой посредством синапсов — место стыка выхода одного нейрона и входа другого, в котором происходит усиление/ослабление сигнала. Каждый синапс индивидуален, он может либо усиливать, либо ослаблять проходящей через него сигнал. Более того, с течением времени синапсы могут меняться, а значит будет меняться характер изменения сигнала. Если правильно подобрать параметры синапсов, то входной сигнал, после прохода через нейронную сеть, будет преобразовываться в правильный выходной сигнал.

Именно так и происходит преобразование множества входных сигналов в верное решение на выходе.

Все плюсы и минусы нейронных сетей вытекают из того утверждения, что они являются упрощенной моделью человеческого мозга или биологических нейронных сетей, так как, при упрощении, сама модель обработки информации осталась неизменной.

Преимущества нейронных сетей:

1. Устойчивость к шумам входных данных.

Данное свойство можно описать на примере того, как человек различает лица прохожих. Помимо непосредственно

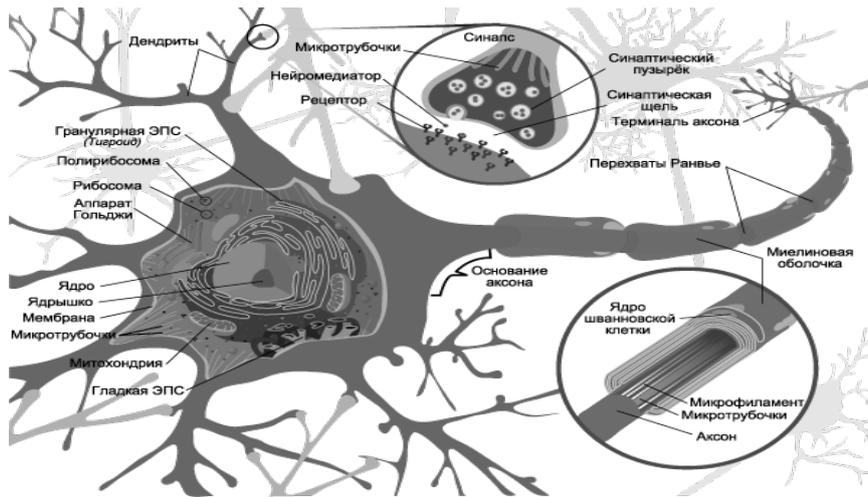


Рис. 1. Строение биологического нейрона

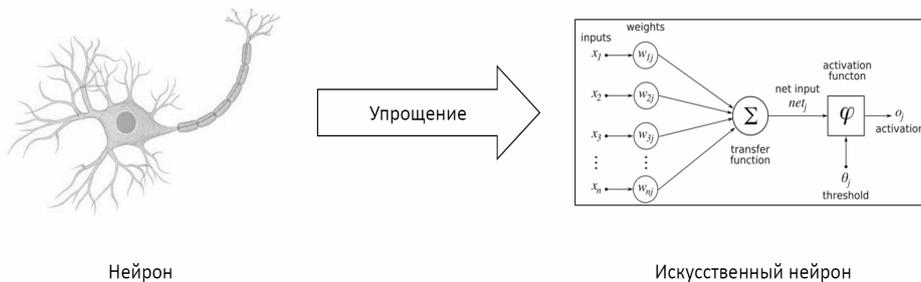


Рис. 2. Упрощенная модель биологического нейрона

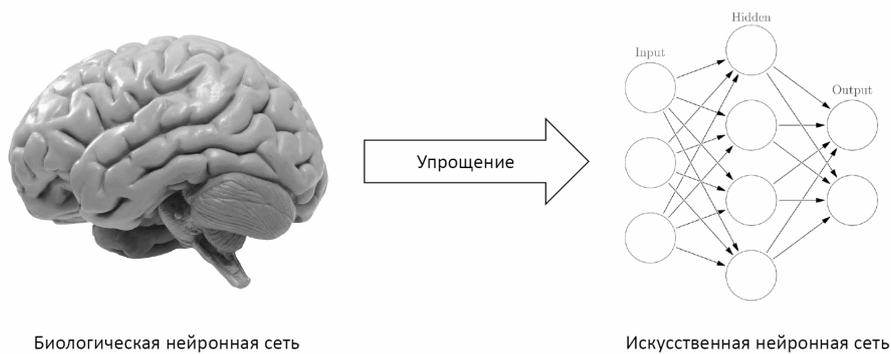


Рис. 3. Упрощение нейронной сети

лиц на изображении есть еще и асфальт, одежда людей, машины, светофор, сумки. Все это является ненужной (шумовой) информацией в задаче распознавания лиц. Тем не менее, человек без труда справляется с данной задачей, так как его мозг уже натренирован на ее выполнение. Важная часть тренировки — игнорирование шумовых сигналов.

Это качество есть и у искусственных нейронных сетей. После тренировки они способны не обращать внимание

на входы, на которые подаются шумовые данные. Нейронные сети способны корректно функционировать, даже если на входе данные зашумлены. Пример изображения показан на рисунке 4.

## 2. Адаптация к изменениям

Человек способен адаптироваться к разного рода изменениям. Предположим, что инженер долгое время работал в САПР. После выхода очередного обновления программы,



Рис. 4. Пример данных в искусственных сетях

в котором добавили новые функции и изменили интерфейс, инженеру не составит труда самостоятельно разобраться в изменениях и продолжить работать, уже используя новые функции. Этот пример показывает, что при небольших изменениях среды человек способен адаптироваться.

Это свойство биологических нейросетей распространяется и на ИНС. Сеть подстраивается под изменения, как пример можно привести сценарий использования нейронной сети для прогнозирования рынка акций, на котором ситуация изменяется высокими темпами. Если бы сеть не подстраивалась, она бы давала неверный прогноз. Примеры показаны на рисунке 5.

3. Отказоустойчивость

В медицинской практике бывают случаи, когда, в следствие повреждений головного мозга приходится удалять его часть хирургическим путем. После этого вторая здоровая половина мозга, пусть и частично, берет на себя функции удаленной. Это же свойство наблюдается и у ИНР.

Нейронные сети способны нормально функционировать даже при достаточно серьезных повреждениях (рисунок 6).

4. Сверхвысокое быстродействие

Биологическая нейронная сеть представляет из себя сеть из нейронов, которые принимают сигнал, преобразуют его и подают на выход, что является, по сути, мно-

гопроцессорной системой. Количество нейронов исчисляется миллиардами.

Это свойство потенциально проявляется и в искусственных нейронных сетях (рисунок 7). Таким образом для эффективного использования ИНР необходимы вычислительные мощности с множеством процессоров.

Однако ИНР имеют ряд серьезных недостатков, которые так же вытекают из их сходства с биологическими нейронными сетями. Но их все можно нивелировать, если использовать их в связке с обычными программными алгоритмами.

Недостатки нейронных сетей:

1. Неспособность нейронных сетей давать точные и однозначные ответы.

Например, в задаче распознавания рукописного текста, особенно если у написавшего не очень понятный почерк, человек обращается к накопленному багажу знаний и выдвигает гипотезу, предположение о том, что за буква написана с определенной долей вероятности. Затем он выбирает наиболее вероятный вариант.

2. Многошаговое принятие решений

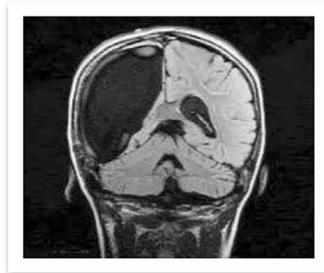
Нейроны искусственной нейросети, в общем случае, не зависят друг от друга. Они получают сигнал, преобразуют его и отправляют дальше в следующий нейрон. Они меняют свои синапсы в зависимости от соседнего нейрона.



Рис. 5. Пример использования нейронной сети

Биологическая аналогия

Гемисферэктомия:  
удаление половины  
мозга



В искусственных сетях

Нейронные сети могут корректно  
функционировать в случае повреждения  
большого числа ее элементов

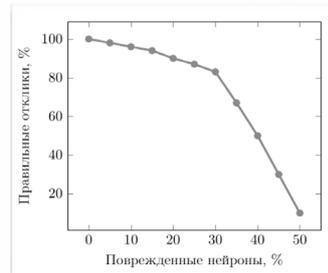


Рис. 6. Функционирование нейронных сетей при повреждениях

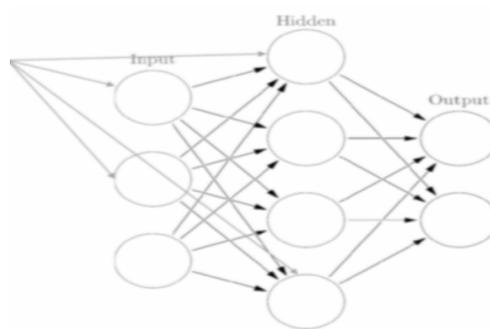


Рис. 7. Множественность нейронных сетей

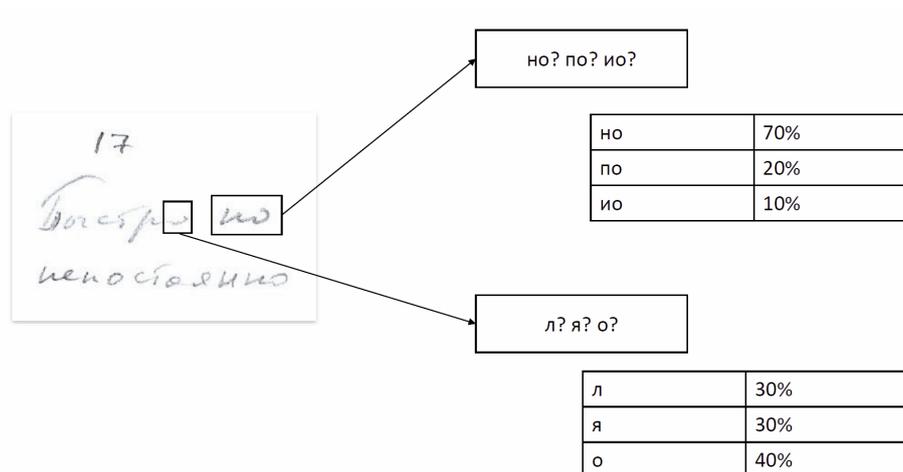


Рис. 8. Распознавание рукописного текста

Отсюда следует, что нейронная сеть может решать задачу только в один заход.

Таким образом ИНР не может решать задачу по шагам. Наш мозг справляется с этой задачей благодаря тому, что он состоит из огромного количества маленьких нейронов, каждая из которых может выполнять свой шаг.

3. Искусственные нейронные сети не способны решать вычислительные задачи (рисунок 10).

Первая проблема, с которой приходится столкнуться — это сложность донесения до сети, какая часть математического выражения, например, находится под корнем, используя только ее входы.

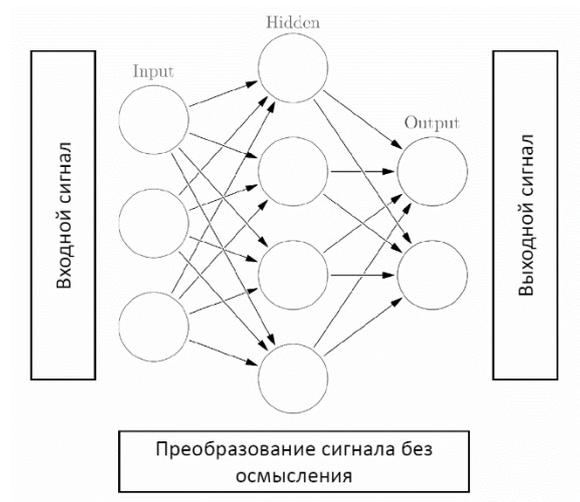


Рис. 9. Пошаговое преобразование сигнала

Как передать задачу в сеть?  
 Как обучить ее математике?  
 Как добиваться точных ответов?

$$\sqrt{2x-1} = 2 + \sqrt{x-4}$$

$$(\sqrt{2x-1})^2 = (2 + \sqrt{x-4})^2$$

$$2x-1 = 4 + 4\sqrt{x-4} + x-4$$

$$2x-1 = 4\sqrt{x-4} + x$$

Рис. 10. Вычислительные задачи

Вторая проблема — невозможность решения задачи последовательно.

Третья проблема — невозможность выдачи точных результатов.

Перейдем к математической модели ИНС. Введем графическое изображение для нейронной сети. На рисунке стрелками показаны направления движения сигналов, а круги — являются нейронами.

В реальной биологической нейронной сети от входов сети к выходам передается электрический сигнал. В процессе прохода по нейронной сети он может изменяться.

В нашей упрощенной имитации сигналы будут подаваться в виде чисел, символизирующие электрический сигнал, на выходе будет получаться число, символизирующее отклик сети.

Каждой стрелке (связи) соответствует число  $w_i$  (вес связи). Когда сигнал проходит по этой связи, его значение умножается на ее вес.

Ниже на рисунке представлена модель искусственного нейрона, который преобразует сигналы, поступающие на его входы.

Поступившие на входы сигналы умножаются на свои веса. Сигнал первого входа  $x_1$  умножается на соответствующий

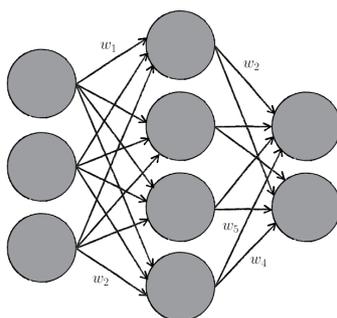


Рис. 11. Графическое изображение нейронной сети

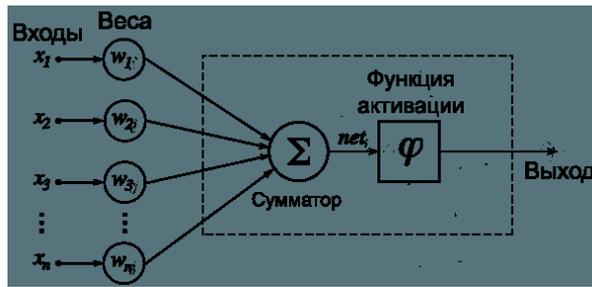


Рис. 12. Модель искусственного нейрона

ющий этому входу вес  $\omega_1$ . Получаем  $x_1\omega_1$ . И так до  $n$ -ого входа. В итоге на последнем входе произведение равно  $x_n\omega_n$ .

Далее все соединения передаются в сумматор, реализующий формулу:

$$\sum_{i=1}^n x_i \omega_i = x_1\omega_1 + x_2\omega_2 + \dots + x_n\omega_n$$

Результатом работы сумматора является сумма, называемая взвешенной. Его роль — агрегация входных сигналов. Взвешенную сумму можно представить, как степень общего возбуждения нейрона.

Взвешенная сумма (Weighted sum) (**net**) — сумма входных сигналов, умноженных на соответствующие им веса:  $net = \sum_{i=1}^n x_i \omega_i$

Чтобы получить интерпретируемый полезный сигнал на выходе искусственного нейрона, потребуется функция активации, которая принимает в качестве аргумента взвешенную сумму. Она преобразует взвешенную сумму в число, которое является выходом нейрона (**out**).

Для разных типов нейронов используют разные функции активации, которые в общем случае обозначают так:  $out = \phi(net)$

Виды функций активации.

1. Функция единичного скачка.

Данная функция представляет собой пороговое значение, до тех пор, пока взвешенная сумма не достигнет определенного значения — на выходе нейрона не будет сигнала (рис. 13).

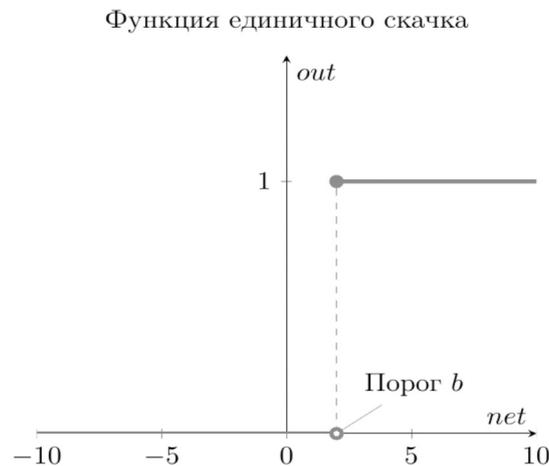


Рис. 13. Функция единичного скачка

На горизонтальной оси расположены значения взвешенной суммы, на вертикальной оси — значение функции активации. То есть на интервале от минус бесконечности и до порогового значения на выходе нейрона будет нулевой сигнал, а на интервале от порогового значения до плюс бесконечности функция примет значение, равное единице.

Запишем функцию математически:

$$out(net) = \begin{cases} 0, & net < b \\ 1, & net \geq b \end{cases}$$

В качестве примера, предположим, что задача искусственного нейрона определить, поехать ли на горнолыжный курорт или нет. Параметрами будут — стоимость, погода, отсутствие неотложных дел, наличие номеров в отелях близко к подъемникам.

Соответственно параметры будут принимать значения, равные 1, если нас устраивает стоимость, погода подходит для катания, неотложные дела отсутствуют, а номера есть в наличии. И, соответственно, будут принимать значения 0, в обратном случае.

Так же каждому параметру соответствуют веса, сопоставимые с их важностью — 6, 9, 7, 3.

Таблица 1. Пример задачи искусственного нейрона (параметры и веса)

Параметры	Веса
Стоимость	6
Погода	7
Отсутствие неотложных дел	9
Наличие номеров в отелях близко к подъемникам	3

Порог, в данном случае, будет равен 19.

В результате, смоделируем ситуацию, когда все параметры принимают положительное значение, кроме того, что нас не устраивает отсутствие номеров в гостиницах, которые расположены близко к подъемникам. Подсчитаем взвешенную сумму:

$$net = 1 \times 6 + 1 \times 7 + 1 \times 9 + 0 \times 3 = 22$$

Таким образом порог пройден и на выходе искусственного нейрона получим положительный результат, равный 1.

### 2. Сигмоидальная функция

Данная функция имеет ряд полезных свойств для использования в нейронных сетях. В отличие от пороговой функции, она принимает значения не равные 0 или 1, а приближенные, что положительно сказывается на результате.

Представим данную функцию в виде уравнения:

$$out(net) = \frac{1}{1 + \exp(-a \times net)}$$

График на рис. 14 показывает зависимость от разных значений параметра а. Параметр характеризует степень крутизны функции.

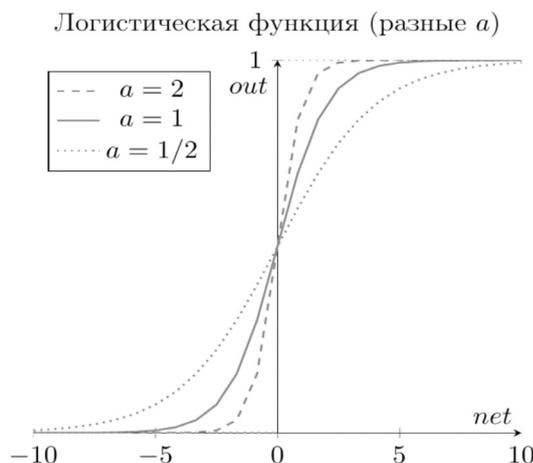


Рис. 14. Логическая функция (разные a)

Возьмем для примера те же критерии и веса, что и в предыдущем примере (таблица 1).

Предположим, что нас не устроила стоимость, тогда значение взвешенной суммы будет равно:

$$net = 0 \times 6 + 1 \times 7 + 1 \times 9 + 1 \times 3 = 19$$

Вычислим значение сигмоидальной функции при параметре a равном 0.1:

$$out(net) = \frac{1}{1 + \exp(-0.1 \times net)} = 0.87$$

Полученный результат означает, что в соответствии с нашей ситуацией мы имеем больше за, чем против и нам стоит поехать.

Полезные свойства сигмоидальной функции:

- является «сжимающей» функцией, то есть вне зависимости от аргумента (взвешенной суммы), выходной сигнал всегда будет в пределах от 0 до 1;
- более гибкая, чем функция единичного скачка — ее результатом может быть не только 0 и 1, но и любое число между ними;
- во всех точках имеет производную, и эта производная может быть выражена через эту же функцию.

### 3. Гиперболический тангенс

Такая функция позволят получить на выходе значения разных знаков. Часто используется биологами для получения более реалистичной модели реальной клетки:

$$out(net) = \tanh\left(\frac{net}{a}\right)$$

Так же, как и в логистической функции, параметр а определяет степень крутизны функции, кроме того гиперболический тангенс обладает теми же свойствами, что и логистическая функция (рис. 15).

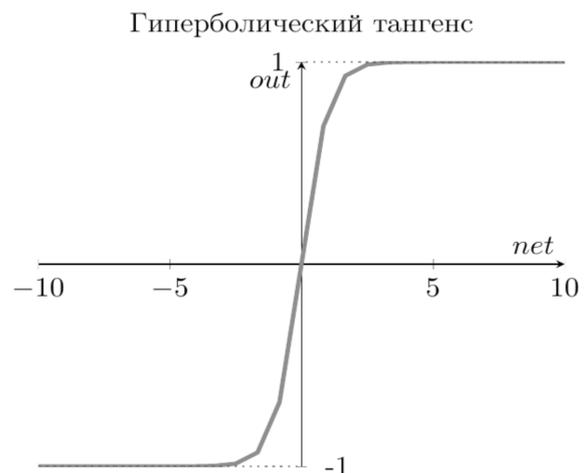


Рис. 15. Гиперболический тангенс

В статье была рассмотрена модель искусственного нейрона. Сами же искусственные нейронные сети состоят из множества таких нейронов. Как правило они состоят из нескольких слоев, первый из которых является входным и выполняет одну единственную задачу — распределение

входных сигналов для остальных нейронов. Входной слой не выполняет никаких вычислений.

ИНС можно разделить на несколько видов:

1. Однослойные нейронные сети.

Однослойная нейронная сеть (Single-layer neural network) — сеть, в которой сигналы от входного слоя сразу подаются на выходной слой, выполняющий его преобразование и передающий обработанный сигнал на выход сети.

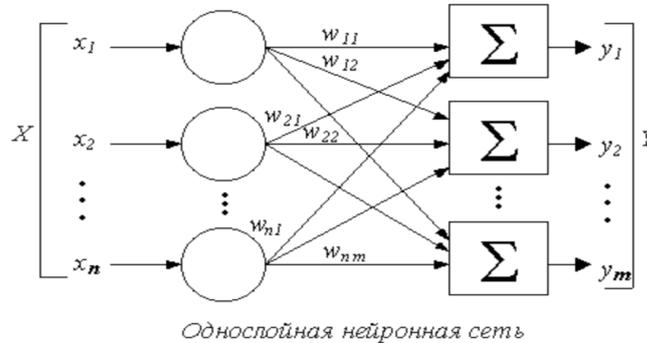


Рис. 16. Однослойная нейронная сеть

На этом рисунке входной слой нейронов не выполняет вычислений, а выходной слой представляет из себя искусственные нейроны, рассмотренные ранее. Стрелками показано направление распространения сигнала.

В таких сетях, кроме входного и выходного существует еще скрытый слой, который находится между ними. Такая структура нейронных сетей копирует многослойную структуру определенных отделов мозга.

2. Многослойные нейронные сети

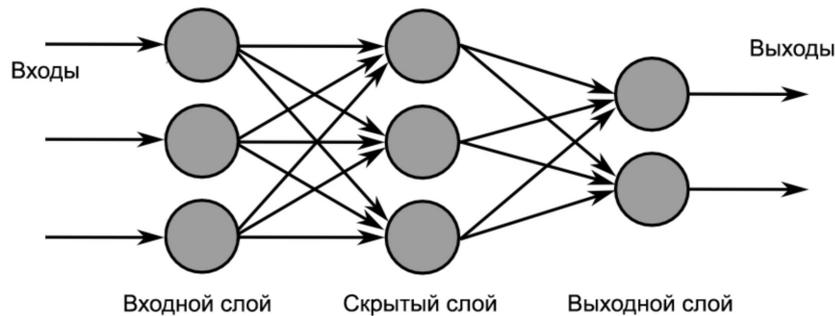


Рис. 17. Многослойная нейронная сеть

Многослойная нейронная сеть (Multilayer neural network) — нейронная сеть, состоящая из входного, выходного и расположенного (ых) между ними одного (нескольких) скрытых слоев нейронов.

Слои в такой сети работают по принципу конвейера. То есть каждый новый слой получает уже преобразованный сигнал от предыдущего, выполняет вычисления и передает следующему слою.

3. Сети прямого распространения

Сети прямого распространения (Feedforward neural network) (feedforward сети) — искусственные нейронные сети, в которых сигнал распространяется строго от входного слоя к выходному. В обратном направлении сигнал не распространяется.

Такие сети успешно справляются с такими задачами, как прогнозирование, кластеризация и распознавание.

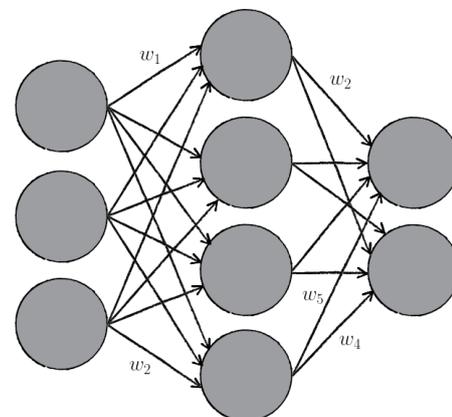


Рис. 18. Сети прямого распространения

#### 4. Сети с обратными связями

Сети с обратными связями (Recurrent neural network) — искусственные нейронные сети, в которых выход нейрона может вновь подаваться на его вход. В более общем случае это означает возможность распространения сигнала от выходов к входам.

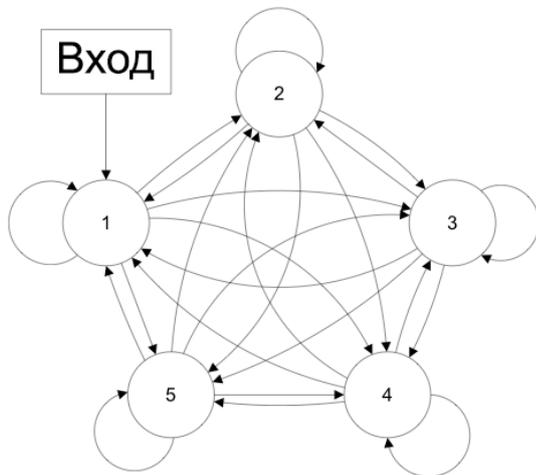


Рис. 19. Сети с обратными связями

Такой принцип открывает широкие возможности, с помощью него можно создать сети восстанавливающие и дополняющие сигналы, то есть имеющие кратковременную память, как человек.

Одним из самых важных аспектов для понимания того, как работают нейронные сети, является понимание того, что нужно для того, чтобы совокупность нейронов правильно выполняла поставленную задачу. Для этого существует процесс обучения сети. ИНС учатся подобно человеку.

Обучение нейронной сети (Training) — поиск такого набора весовых коэффициентов, при котором входной сигнал после прохода по сети преобразуется в нужный нам выходной.

Такой подход к термину «обучение нейронной сети» соответствует и биологическим нейросетям. Наш мозг состоит из огромного количества связанных друг с другом нейросетей. Каждая из них в отдельности состоит из нейронов одного типа (функция активации одинаковая). Мы обучаемся благодаря изменению синапсов — элементов, которые усиливают/ослабляют входной сигнал.

Если подать на вход сети лишь один сигнал несколько раз, то она запомнит его, подобно, как и человеку легче запомнить малое количество информации. Нам же нужна способность классифицировать и обобщать признаки, то есть выдавать правильный ответ. Именно для этого нужна обучающая выборка.

#### Литература:

1. Н. Новикова, Структурное распознавание образов, Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2006.

Обучающая выборка (Training set) — конечный набор входных сигналов (иногда вместе с правильными выходными сигналами), по которым происходит обучение сети.

После обучения сети, можно пробовать применить ее на практике и подать на входы сигналы, которых не было в обучающей выборке. Но прежде, чем это сделать, следует проверить сеть на точность выдаваемых результатов, для это существует тестовая выборка.

Тестовая выборка (Testing set) — конечный набор входных сигналов (иногда вместе с правильными выходными сигналами), по которым происходит оценка качества работы сети.

Таким образом обучение ИНС — это подбор правильных весов для каждого искусственного нейрона. Чтобы это осуществить, можно использовать два метода:

#### 1. Обучение с учителем.

Смысл операции заключается в том, что на вход ИНС подается сигнал, на который заранее известен верный ответ. В случае, если сеть дает верный ответ веса не изменяются. Если же ответ, данный сетью оказался неверным, следуя от выходов ко входам в соответствии со специальным алгоритмом веса ИНС подстраиваются и обучение продолжается до тех пор, пока обучающая выборка не закончится.

Обучение с учителем (Supervised learning) — вид обучения сети, при котором ее веса меняются так, чтобы ответы сети минимально отличались от уже готовых правильных ответов.

В качестве входных сигналов можно брать определенные дни, общее состояние рынка и другие параметры. А в качестве правильных ответов — рост и падение цены в те дни.

#### 2. Обучение без учителя.

Обучение без учителя применяют, когда верный ответ на входные сигналы не известен. В этом случае вся обучающая выборка состоит лишь из входных сигналов.

При таком обучении сеть начинает выделять классы из подаваемых в нее сигналов, то есть выполняет кластеризацию.

Например, мы подаем на вход сети объекты и их свойства, соответствующие автобусу, троллейбусу и трамваю. Со временем ИНС станет выдавать три разных сигнала, соответствующие этим объектам.

Обучение без учителя (Unsupervised learning) — вид обучения сети, при котором сеть самостоятельно классифицирует входные сигналы. Правильные (эталонные) выходные сигналы не демонстрируются.

В данной статье была изучены общие принципы работы нейронных сетей, структура искусственного нейрона, различные виды сетей и способы их обучения. Данная информация является необходимой для создания различных прототипов систем распознавания объектов на изображениях на основе нейронных сетей.

2. Д. Форсайт и Ж. Понс, Компьютерное зрение. Современный подход, Издательство: Вильямс, 2004.
3. С. S. A. T. D. Erhan, «Neural Information Processing Systems», в Deep Neural Networks for Object Detection, 2013.
4. S. Sanner, «Rowley-Baluja-Kanade Face Detector», <http://users.cecs.anu.edu.au/~ssanner/Software/Vision/Project.html#I>.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Проверка измерительных трансформаторов тока на месте их эксплуатации

Арутюнов Юрий Артемович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник  
Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий  
Федерального медико-биологического агентства (г. Москва)

Дробязко Александр Александрович, инженер  
ООО «Двойная спираль» (г. Москва)

Чащин Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
Ковровская государственная технологическая академия имени В. А. Дегтярева (г. Ковров)

Шашок Павел Александрович, инженер  
ООО «Двойная спираль» (г. Москва)

*Рассмотрены вопросы, возникающие при эксплуатации трансформаторов тока в системах контроля и учета электроэнергии. Предложен метод проверки на основе многократных измерений, дающий возможность экспериментальной оценки погрешности средств проверки и определения соответствия погрешности трансформаторов тока заявленному классу точности. Приведены результаты статистической обработки измерений тока, полученных посредством измерительного трансформатора тока опорного типа ТОП-0,66–5–0,5–15/5 УЗ.*

*Ключевые слова:* трансформатор тока, класс точности, погрешность измерений, многократные измерения

Конкурентоспособность, скорость освоения выпуска новых изделий, эффективность производства, как на крупных промышленных предприятиях, так и на малых предприятиях, тесно связаны с вопросами энергосбережения и повышения энергоэффективности. Среди мероприятий по повышению энергоэффективности, в настоящее время, одним из ведущих направлений по сокращению издержек, является установка приборов учета, малозатратная мера, направленная на повышение прозрачности расходования энергии, отличающаяся тем, что позволяет организовывать мониторинг и анализ энергопотребления в зависимости от производительности и в дальнейшем получить экономию электроэнергии.

Согласно существующим представлениям, приборы учета, такие как однофазные и трехфазные счетчики изготавливаются на номинальные токи до 100 А [1]. Такое исполнение позволяет выполнять учет индивидуального потребления электроэнергии. При больших номинальных токах, в сетях до 1 кВ соответствующих работе счетчика расположенного на подстанции, обеспечивающей питанием современный город или производственное предприятие, последовательные обмотки счетчиков обычно включают через измерительные трансформаторы тока (ТТ). При этом регламентируется, что установка приборов учета

должна выполняться с учетом требований гл. 1.5 Правил устройства электроустановок, содержащим указание по выбору сечений проводов и кабелей, используемых для цепей напряжения счетчиков. Что же до указаний длины соединительных проводов, то они нормируются только по критерию потери напряжения, которое не должно превышать 0,5% от номинального напряжения. При этом само расстояние между ТТ нагруженным на прибор учета не нормируется, что не позволяет оценить влияние электромагнитной совместимости на погрешность выполняемых измерений.

Так же следует отметить, что метрологическая стабильность современных ТТ во многом зависит от типа и марки материала магнитопроводов (сердечников) [2]. Традиционно для материала сердечников ТТ применяется высококачественная тонколистовая электротехническая сталь марок 3108, 3409 класса 3, типа 4, группы 0 или 1 изготавливаемая по ГОСТ 21427.1–83, толщиной 0,27–0,35 мм, шириной 650–1000 мм. В соответствии с указанным ГОСТом контролируются только два показателя: удельные магнитные потери и магнитная индукция ВН. Например, для стали марки 3408 толщиной 0,3 мм эти показатели должны иметь значения  $P_{1,7/50} \leq 1,20$  Вт/кг и  $B_{100} \geq 1,74$  Тл. Учитывая, что в условиях колебания суточного графика

нагрузки потребителей, ТТ до  $T=10$  часов в сутки<sup>1</sup> может работать в режиме действующего значения тока менее 20% номинального, а так же принимая во внимание, что фактическая нагрузка присоединения может быть значительно ниже номинального тока, т. к. ранее сети проектировались с учетом перспективы развития, которое так и не произошло, актуальным становится использование ТТ повышенной точности с литерой «S» предназначенного для учета электроэнергии от 1% от номинального тока. Например известно, что замена ТТ класса 0,5 на аналогичный ТТ класса 0,5S позволяет за год при коммерческом учете, за счет разницы погрешностей регистрации потребления электроэнергии достигать, при работе на 5% от номинальной нагрузки (напряжение  $U=380$  В, сила тока  $I_{ном} = 15$ А), экономии электроэнергии до 7811 кВт·ч [3]. Однако следует отметить, что возможность использования электротехнической стали для изготовления магнитопроводов трансформаторов класса точности с литерой «S» ограничена, т. к. во многом зависит от неконтролируемых ГОСТом магнитных свойств тонколистового проката в начальной области кривой намагничивания и поэтому эти свойства меняются не только от партии к партии, но и от рулона к рулону и даже между отдельными участками рулона. Поэтому отбор стали для сердечников трансформаторов тока классов 0,2S и 0,5S во многом носит экспериментальный характер с использованием «метода проб и ошибок», что при весе рулона около 5 тонн, затрудняет в серийном производстве сердечников для ТТ класса точности с литерой «S» поточный контроль соответствия реальной и заявляемой погрешности ТТ. Таким образом, расширенный диапазон номинального тока который производители ТТ контролируют на соответствие ГОСТ 7746–2001 практически не подтверждается ничем, кроме заверений заводов-изготовителей.

Так же следует отметить, что продолжительное использование ТТ сверх указанных производителем сроков эксплуатации, в том числе после протекания токов короткого замыкания при возникновении аварийных режимов, сопровождается ростом влияния остаточного намагничивания и может приводить к значительному увеличению погрешности ТТ, особенно при работе в условиях когда фактическая нагрузка присоединения значительно ниже номинального тока [4].

В то же время, известно [5], что погрешность ТТ существенным образом влияет на количество неучтенной электроэнергии, так в сетях напряжением 110 кВ, без учета погрешности трансформаторов напряжения и счетчика электроэнергии, увеличение погрешности ТТ с  $\pm 0,2\%$  до  $\pm 0,75\%$  приводит к увеличению годового количества неучтенной удельной электроэнергии до 4 раз с 14,02 кВт·ч до 52,56 кВт·ч. Это делает актуальным при выполнении энергоаудита, с целью принятия решений о замене нагруженных на приборы учета ТТ для минимизации погреш-

ности вносимой ТТ при учете транзита электроэнергии, выполнять оценку имеющих место погрешностей измерений  $f$ .

Для оценки имеющих место погрешностей ТТ нагруженных на прибор учета может быть использован прямой метод проверки. Однако для оценки погрешности измерения в этом случае необходимо иметь эталонное оборудование, класс точности которого на порядок превышает класс точности измеряемого ТТ [6]. Существуют так же и другие ограничения по поверке ТТ под нагрузкой, связанные с условиями эксплуатации. Так выполнение поверки ТТ в полном объеме по требованиям ГОСТ 8.217 на местах их эксплуатации в некоторых случаях невозможно из за невозможности подключения к первичной цепи ТТ, необходимости доставки к месту поверки источников тока до 30000 А, обладающих большими габаритами и массой. Поэтому, несмотря на требования закона «Об обеспечении единства измерений», согласно которого все средства измерений, используемых при коммерческом учете электрической энергии, подлежат обязательному государственному контролю и надзору [7] на практике периодическую поверку проходят в основном счетчики электроэнергии поскольку считается, что метрологические характеристики ТТ достаточно стабильны во времени [8].

В работе, на примере трансформатора ТОП-0,66–5–0,5–15/5 УЗ рассмотрена возможность определения токовой погрешности ТТ методом многократных измерений. Перед проведением измерений необходимо определить значения падения напряжений  $U_{1к}$  (рис. 1) на первичной обмотке ТТ, нагруженного на счетчик электроэнергии, для заданной кратности тока от 0,01 до 1,2

$$k = I_2 / I_{2ном}, \quad (1)$$

где  $I_{2ном}$  — номинальный вторичный ток, значения которого для большинства ТТ составляет 5 А;  $I_2$  — значение тока при котором определяются погрешности.

В соответствии с известными требованиями [6], погрешность определения  $f$  для ТТ может составлять 0,5–0,7 от класса точности поверяемого ТТ. Принимая для экспериментального определения погрешности зависимость:

$$f = \left( \frac{I_1}{I_2} - n \right) / n \times 100\%, \quad (2)$$

где  $I_1, I_2$  — сила тока, протекающего по первичной и вторичной обмотках ТТ соответственно;  $n$  — коэффициент трансформации, согласно паспортным значениям ТТ типа ТОП-0,66–5–0,5–15/5 УЗ, принимаем  $n=3$ .

Известно, что точность измерений  $f$  может быть оценена по небольшому разбросу данных, полученных при многократном измерении одной и той же величины [9] с последующей обработкой результатов измерений с помощью вероятностно-статистических методов теории вероятности и математической статистики. В этом прибли-

<sup>1</sup> Для промышленности, это как правило ночное время с 22.00 до 7.00, в коммунальном секторе это и ночное время, и время с 9.00 до 17.00.

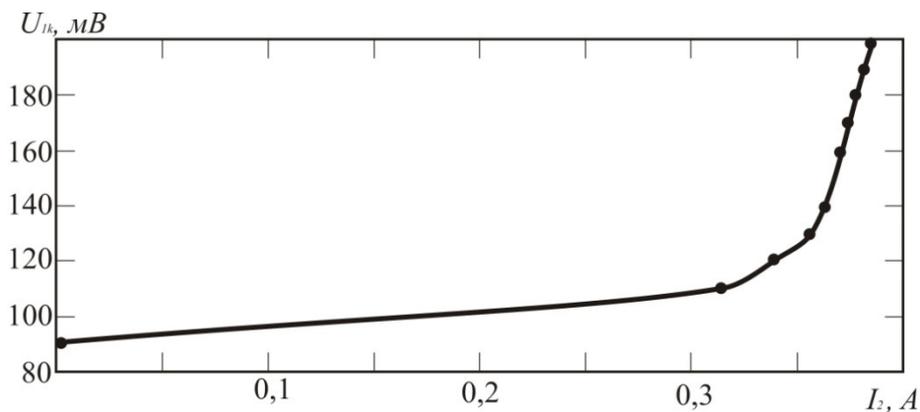


Рис. 1. Зависимость падения напряжения на первичной обмотке ТТ

жении, для случая, когда объект измерений до этого не исследовался и, кроме предварительных, паспортных значений величин, о нем мало что известно, число измерений должно составлять 50... 100. Будем считать, что определение погрешности  $f$ , путем ее расчета по формуле (2), можно проводить по измерениям тока  $I_2$  выполняемому при заданном значении  $I_1$  как функции  $U_{1к}$ . Учитывая, что измерения выполняются под нагрузкой, принимаем, что для трансформатора ТОП-0,66–5–0,5–15/5 УЗ многократные измерения  $I_2$  можно производить при вариации  $U_{1к}$  в диапазоне  $\pm 0,003U_{1к}$ . (см. рис. 1)

По результатам многократных измерений  $I_2$  в заданном диапазоне изменения значений  $I_1$  рассчитывают среднее арифметическое значение и статистическое среднее квадратическое отклонение (СКО) величины. Первое является оценкой математического ожидания величины, а статистическое СКО — оценкой теоретического СКО. Принимаем коэффициент трансформации за случайную величину  $x$ . Произведено  $i$  независимых измерений с результатами  $x_1, x_2, \dots, x_i$ . Для оценки истинного значения измеряемой величины  $x$  будем использовать среднее арифметическое значение  $m_x^*$  под которым понимаем оценку математического ожидания  $m_x$ , соответствующего для физической величины ее истинному значению:

$$m_x^* = \sum_i x_i / i \tag{3}$$

Принимаем, что число выполняемых измерений  $i$  позволяет получить нормальный закон распределения  $x$ . В этом приближении центральный момент нормального распределения определяются в соответствии с рекуррентной формулой

$$\mu_s = (s - 1)\sigma^2 \mu_{s-2}, \tag{4}$$

где  $\mu_s$  — центральный момент  $s$ -го порядка.

Тогда оценкой дисперсии  $D_f$  дискретной величины  $x$  является статистическая дисперсия, которую удобно определить как статистический второй центральный момент

$$D_x^* = \sum_i (x_i - m_x^*)^2 p_i^*, \tag{5}$$

где  $p_i^*$  — статистическая вероятность значения  $x_i$ .

Известно, что одним из условий получения надежных оценок является требование к их несмещенности, которое заключается в том, чтобы при замене оценкой  $m_x^*$  истинного значения  $x_{ист}$  не допускалась систематическая погрешность в сторону увеличения или уменьшения относительно значения  $x_{ист}$ .

Несмещенной оценкой дисперсии  $D_x$  является величина

$$D_x^* = S_x^2 = \sum_i (x_i - m_x^*)^2 / i - 1. \tag{6}$$

Статистическое СКО

$$S_x = \sqrt{\sum_i (x_i - m_x^*)^2 / i - 1}. \tag{7}$$

При обработке результатов измерений приходится встречаться с различными законами распределения измеряемых величин, однако в практике электрических измерений наибольшее распространение получил нормальный закон распределения. Нормальный закон распределения величины  $x$  представляется плотностью распределения, которая должна быть симметрична относительно точки рассеивания, имеющей абсциссу  $m_x$ . В этом приближении для некоторого интервала значений от  $a$  до  $b$  вероятность того, что выполняется  $a < x < b$

$$P(a < f < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_f} \int_a^b e^{-\frac{(f-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} df \tag{8}$$

Заменим в выражении (8) переменную  $(f - m_x) / \sigma_x = t$ , тогда:

$$P(a < f < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a-m_x}{\sigma_x}}^{\frac{b-m_x}{\sigma_x}} e^{-t^2/2} dt \tag{9}$$

Для вычисления интеграла (9) удобно использовать функцию Лапласа, тогда

$$P(a < f < b) = \Phi\left(\frac{b - m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a - m_x}{\sigma_x}\right). \quad (10)$$

При выполнении точных измерений целесообразно учесть реальную форму закона распределения результатов измерений и учитывать его свойства при обработке этих результатов. С целью определения закона распределения удобно использовать критерий Пирсона. Согласно которому, результаты  $i$  независимых измерений величины  $x$  распределяются в порядке возрастания, а весь диапазон измеренных значений разделяется на число разрядов:

$$y \approx \sqrt{i}, \quad (11)$$

где  $y$  — число разрядов;  $i$  — число измерений.

После определения числа разрядов ряда строится статистический ряд, в котором приведены длины разрядов в порядке их соответствия оси абсцисс величины  $x$ , количе-

ства значений величины  $m_x$ , оказавшихся в том или ином разряде, а также статистические частоты  $P^*_i$ . По виду гистограммы определяется возможный закон распределения. В случае если закон распределения не соответствует нормальному закону, число измерений  $i$  необходимо увеличить, либо выполнить измерения повторно с использованием более точных средств, методов измерения.

На рис. 2 приведены результаты многократных измерений, выполненные для трансформатора тока опорного типа ТОП-0,66–5–0,5–15/5 УЗ. Количество отсчетов  $i=50$ . Ток текущей через первичную обмотку 750 мА. В примере вид гистограммы свидетельствует о том, что возможной теоретической моделью данного распределения является нормальный закон, который и принимается с целью идентификации. Обработка измерений по формулам (2–11) выполнена с использованием известной программы статистической обработки экспериментальных данных<sup>1</sup>.

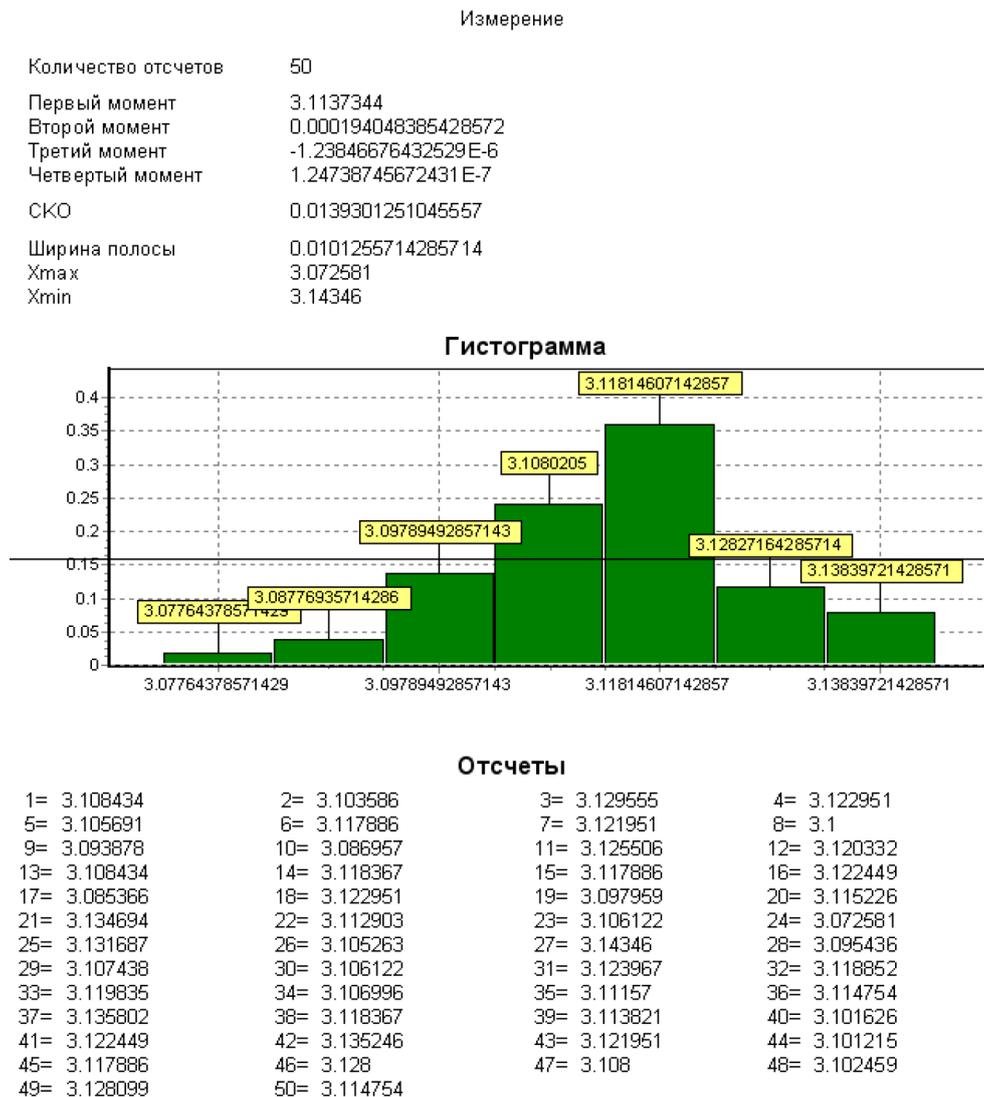


Рис. 2. Гистограмма погрешности выполненного измерения

<sup>1</sup> Сибирская Государственная Геодезическая Академия. Михайлов И.О. miig@ Rambler.ru.

Из приведенных результатов статистической обработки (см. рис. 2) видно, что распределение носит гауссову форму, это позволяет считать количество выполненных отсчетов достаточными. Результаты измерений показали, что погрешность измерения СКО на полувысоте составила

1,39%. В соответствии с требованиями ГОСТ 7746–2001 (разработан ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока», введен в 2003 г.), для ТТ класса точности 0,5, к которым относится исследуемый ТТ предел токовой погрешности не должен превышать 1,5% (табл. 1)

Таблица 1. Выдержка ГОСТ 7746

Класс точности	Первичный ток, % номинального значения	Предел допускаемой погрешности токовой, %
0,5	5	±1,5
	20	±0,75
	100–120	±0,5

Выполненные измерения проведены для тока 750 мА (см. рис. 2), что составляет 5% от номинального значения первичного тока. Таким образом, полученное значение СКО, составляющее 1,39% соответствует требованиям ГОСТ 7746–2001.

Известно, точность ТТ класса 0,5 при токе первичной катушки менее 5% (рис. 3) не нормируется [10, 11]. Однако при использовании ТТ с литерой «S» возникает необходимость в определении погрешности измерения при меньших значениях тока.

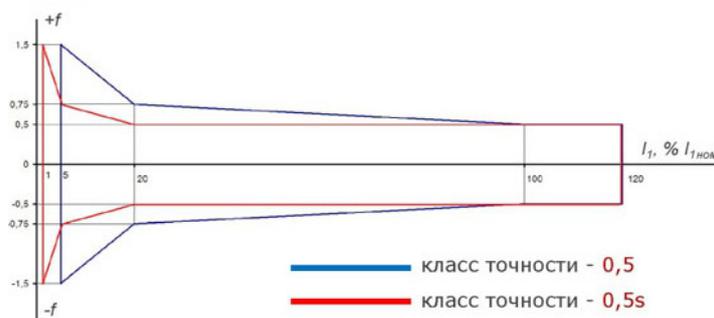


Рис. 3. Разница между классами точности 0,5S и 0,5 [10]

Результаты оценки погрешности ТТ приведены в табл. 2.

Результаты измерений зависимости рассчитанной по формуле (1) силы тока и измеренной силы тока вторичной обмотки ТТ приведены на графике 4.

Видно, что зависимость тока вторичной обмотки ТТ имеет линейный характер. Т. о. принятые в работе допущения о возможности определения силы тока  $I_1$  расчетным путем (см. табл. 2) не вносят существенных искажений и позволяют определять при многократных измерениях значение коэффициента трансформации ТТ как отношение токов в первичной и вторичной обмотках при выполнении многократных измерений в заданном диапазоне изменения напряжения первичной обмотки  $\pm 0,003U_{1к}$ .

Из приведенных в табл. 2 результатов видно, что при работе в области малых токов, текущих через первичную обмотку ТТ (менее 5%), зависимость имеет нелинейный вид, что особенно видно на кривых зависимости напряжения на вторичной обмотке и соответствует традиционным представлениям об области доверительной работы ТТ класса точности 0,5 и может быть вызвано потерями в магнитопроводе ТТ при работе на начальном участке кривой намагничивания.

Заключение.

В работе рассмотрены вопросы, возникающие при эксплуатации систем контроля и учета электроэнергии. На примере статистической обработки измерений тока, полученных посредством измерительного трансформатора

Таблица 2

$U_1, В$	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
$I_1, мА$	160	190	220	240	260	280	300	320	340	360
$I_2, мА$	51	61	71	77	84	90	97	104	110	117
СКО, %	6,00	3,67	3,33	4,33	3,67	3,67	3,33	3,00	3,67	3,00

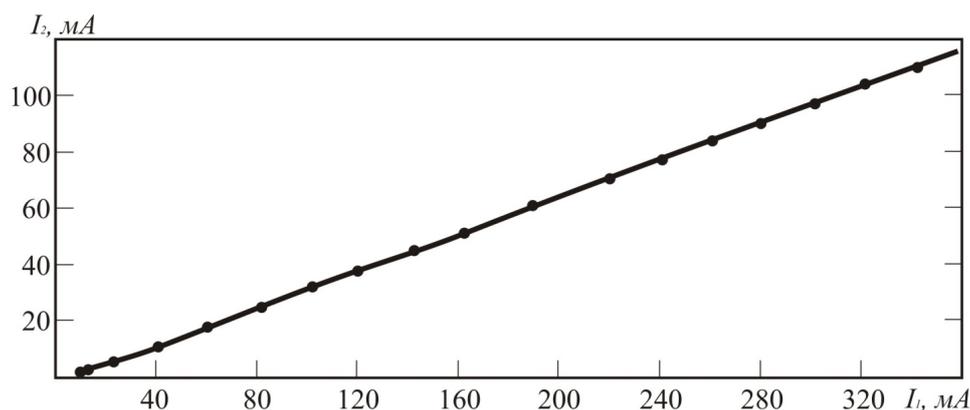


Рис. 4. Зависимость силы тока вторичной обмотки ТТ от тока нагрузки

тока опорного типа ТОП-0,66–5–0,5–15/5 УЗ показана возможность по результатам многократных измерений экспериментально определить погрешность трансформаторов тока непосредственно на местах их эксплуатации.

Литература:

1. Легостов, В. В. Измерительные трансформаторы тока // Измерение. гц. — 2006. — № 12 (2). — с. 37–39.
2. Афанасьев, В. В., Адоньев Н. М., Кибель В. М. Трансформаторы тока. — 2-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 416 с.
3. Чашин, Е. А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на машиностроительном предприятии: учебное пособие / Е. А. Чашин, Ю. В. Молокин, Н. П. Бадалян — Ковров: ФГБОУ ВПО «КГТА им. В. А. Дегтярева», 2014. — 286 с.
4. Раскулов, Р. Ф. Погрешности трансформатора тока. Влияние токов короткого замыкания // Новости электротехники. — 2005. — № 2 (32). — с. 114–116.
5. Точный учет: трансформаторы тока Источник: <http://www.elec.ru/articles/vybor-izmeritelnyh-transformatorov/> // elec.ru. URL: <http://www.elec.ru/articles/vybor-izmeritelnyh-transformatorov/> (дата обращения: 17.04.2017).
6. МИ 3123–2008 ГСИ. Трансформаторы тока. Экспериментально-расчётная методика поверки измерительных трансформаторов тока на местах их эксплуатации.
7. Федеральный закон Российской Федерации от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
8. Нефедьев, Д. И., Нефедьев А. И. Решение проблемы поверки измерительных трансформаторов напряжения на месте их эксплуатации // Известия ВолгГТУ. — № 6 (145) том 18, 2014. — с. 63–66.
9. Пизюта, Б. А., Михайлов И. О. Новые оптико-электронные приборы для оптических измерений: Учеб. пособие для студентов оптического факультета. — Новосибирск: СГГА, 1996. — 77 с.
10. ГОСТ 7746–2001 «Трансформаторы тока. Общие технические условия».
11. Стандарты по измерительным трансформаторам. Новые требования // ielectro. Все об электротехнике. URL: <http://www.ielectro.ru/news65920/index.html> (дата обращения: 17.04.2017).

## Модуль подавления шумов для систем звукозаписи

Арутюнян Карен Эдвардович, магистрант;  
Боровик Ирина Геннадьевна, PhD, старший преподаватель;  
Эйвазов Араз Гаджихмедович, магистрант  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

*Одним из наиболее распространенных неблагоприятных физических факторов окружающей среды является шум. Шум — беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью спектральной и временной структуры. Присутствие неблагоприятного звука (шума) в системах звукозаписи в настоящее время является актуальной проблемой. В статье приводится анализ существующих методов шумоподавления и рассматривается разработанный авторами модуль подавления шума в системах звукозаписи.*

**Ключевые слова:** шумоподавление, система звукозаписи, фильтрация, фильтр Винера

Одним из наиболее распространенных неблагоприятных физических факторов окружающей среды является шум. Шум — беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью спектральной и временной структуры. Источником шума является любой процесс, вызывающий изменение давления или колебания в твердых, жидких или газообразных средах.

Одной из актуальных проблем в настоящее время является присутствие неблагоприятного звука (шума) в системах звукозаписи. Методам подавления шума в системах звукозаписи и посвящена данная статья.

Человеческое ухо имеет свой диапазон воспринимаемого звука. Диапазон — звуковой объем, который показывает потенциальные возможности человека брать ту или иную ноту. Очевидно, что частотный диапазон голоса мужчин и женщин различен, это заметно при обычной беседе.

Голосовые связки у мужчин обычно более длинные и массивные, чем у женщин, поэтому частота мужского голоса находится в примерном диапазоне 80–240 Гц, а женского — 140–450 Гц. В свою очередь, диапазон детских частот голоса колеблется в интервале 170–600 Гц. Однако, чтобы передать характерные особенности тембра, необходимо проигрывать частотный диапазон в пределах 80–8000 Гц. Такой широкий диапазон обуславливается тем, что именно в этом диапазоне сохраняются хорошая разборчивость и естественность звучания голоса [1].

### Исследование существующих методов

Для начала проанализируем на практике существующие методы шумоподавления. Для этого было записано две аудиозаписи. Первая запись была сделана на улице, вторая — в метро. Графики записанных сигналов представлены на рисунке 1 и 2. Именно эти условия являются

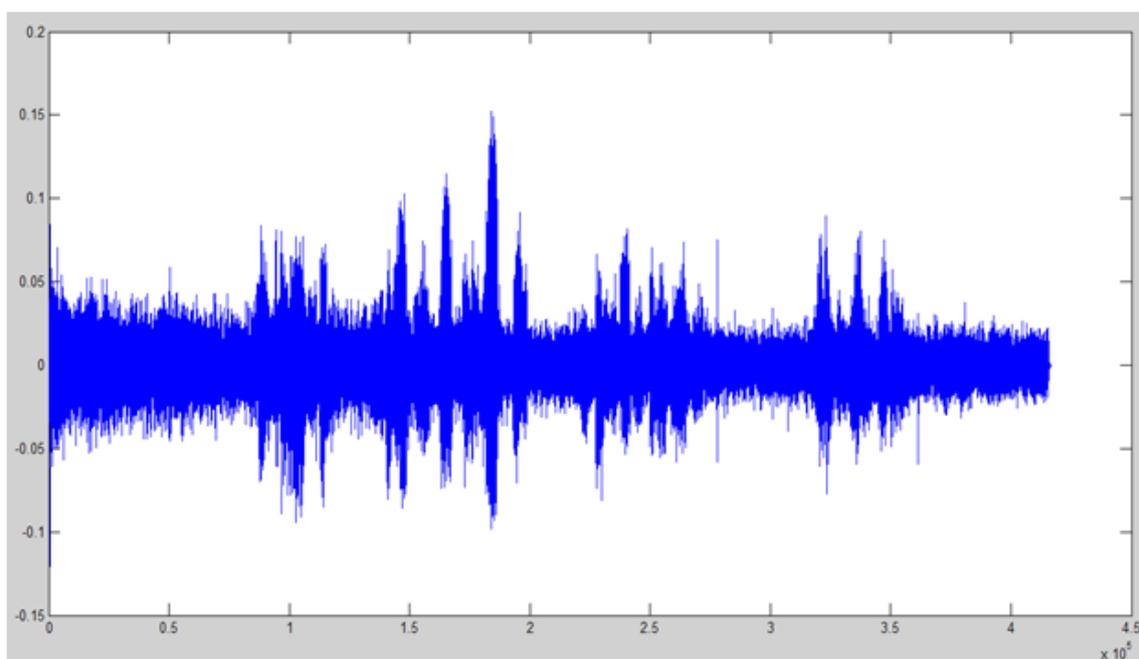


Рис. 1. График записи на улице

наиболее сложными с точки зрения шума в городской обстановке. Спектральные представления сигналов показаны на рисунке 3 и рисунке 4. Для взаимодействия системы была использована программа MATLAB.

К записанным аудиосигналам были применены следующие фильтры:

- 1) Фильтр низких частот (ФНЧ);
- 2) Фильтр высоких частот (ФВЧ);
- 3) Полосовой фильтр;

Ни один из способов фильтрации, не привел к желаемому результату, то есть шумовые компоненты аудиосигнала не были удалены. После применения ФНЧ высокие частоты были срезаны, при этом искажился полезный сигнал. Тоже самое произошло и с ФВЧ, низкие частоты были срезаны, полезный сигнал искажился. Так как порядок фильтра не может быть корректно обработан в MATLAB, характеристика полосового фильтра не удовлетворяет заявленным требованиям. В ходе экспери-

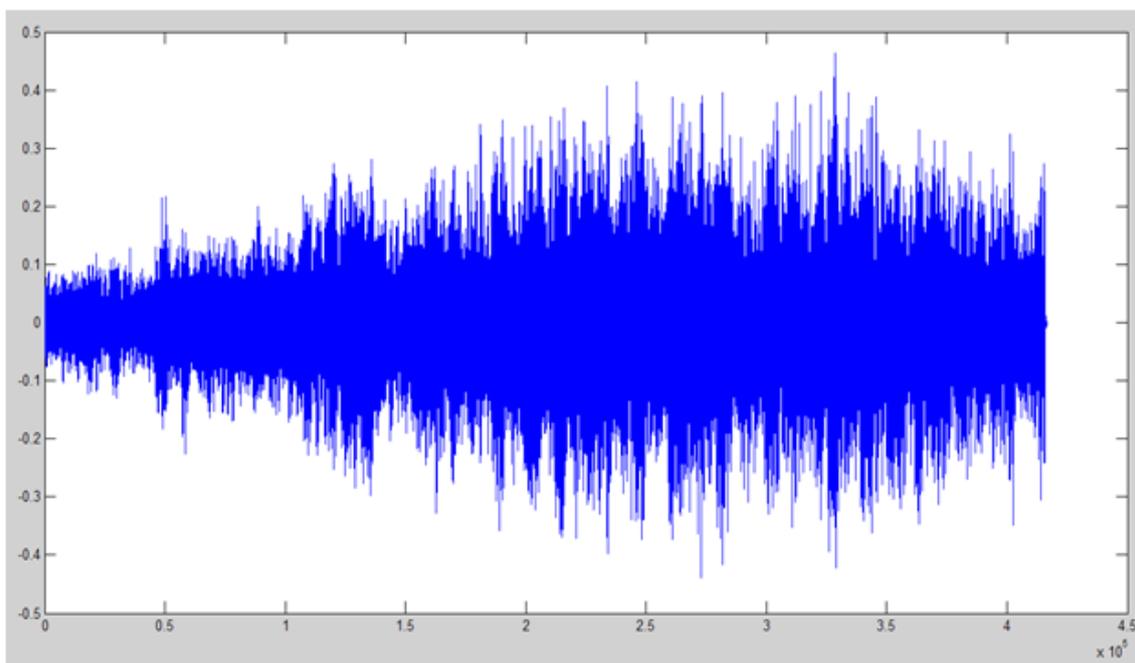


Рис. 2. График записи в метро

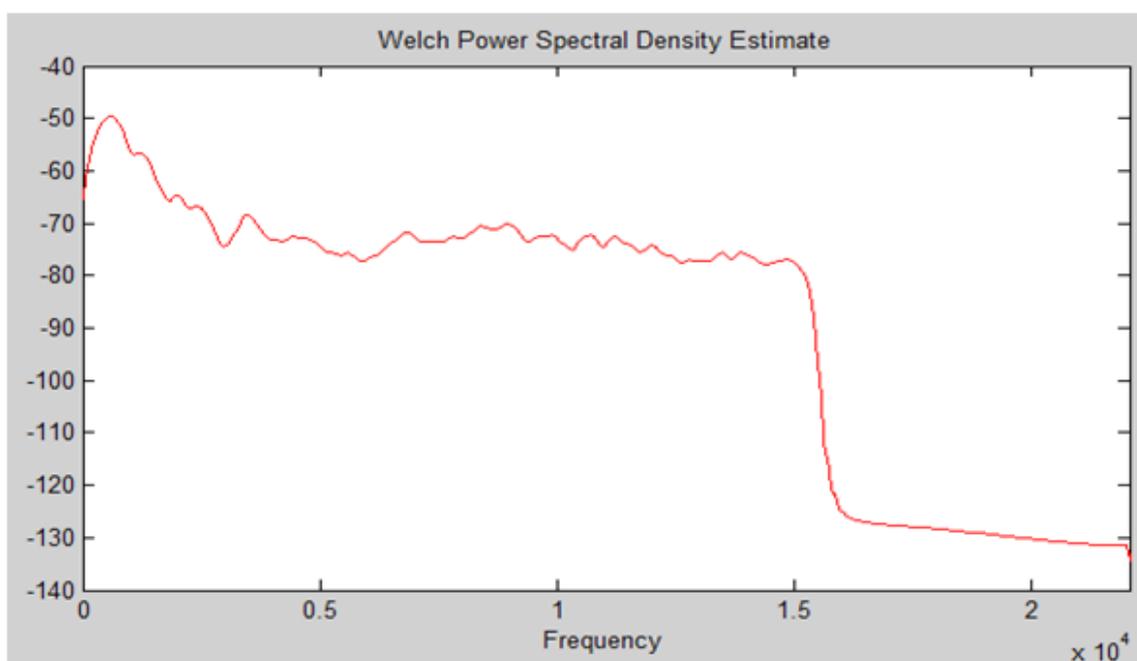


Рис. 3. Спектральное представление уличного сигнала

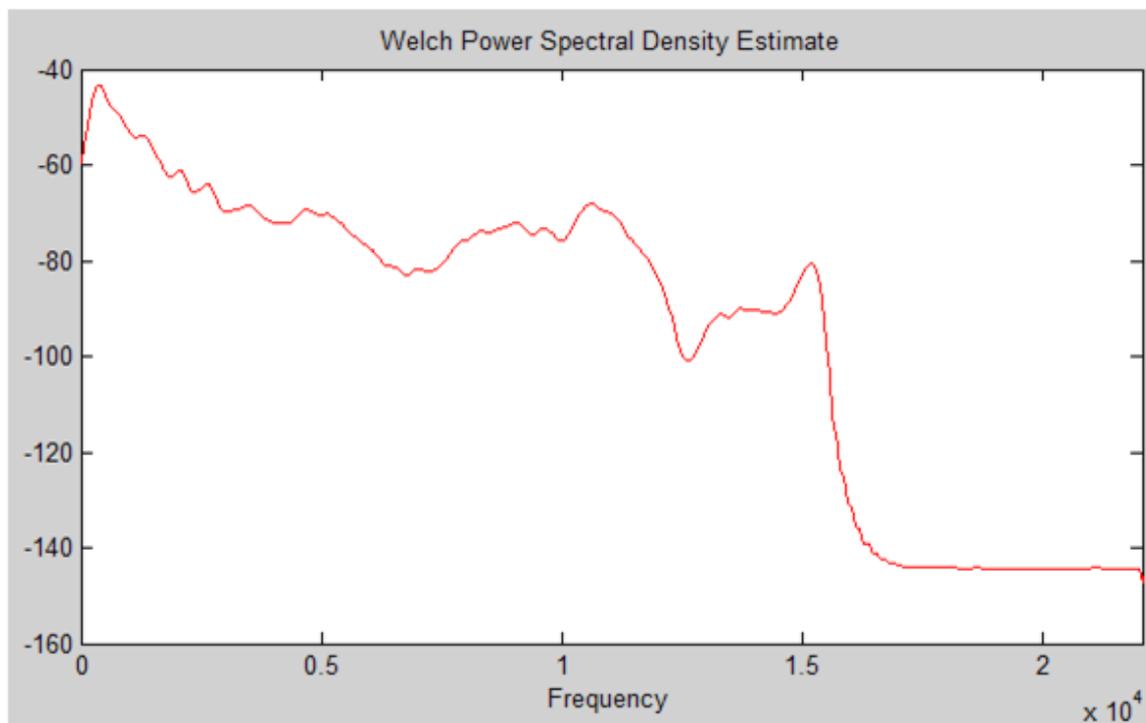


Рис. 4. Спектральное представление сигнала в метро

ментов были предприняты попытки вручную подобрать частоты среза фильтров, но это не привело к удовлетворительным результатам. В итоге было принято решение перейти на более сложный алгоритм фильтрации.

В тех случаях, когда на входе системы автоматического управления действует полезный сигнал и помеха, которые являются коррелированными между собой стационарными случайными процессами с равными нулю средними значениями, используется фильтр Винера [2]. Для освобождения полезного сигнала от шума проводится анализ, на входе которого общий сигнал исследуется на типичные свойства речи и шума. При этом рассматриваются отношения сигнал-шум на разных частотах спектра. Поскольку шумовой сигнал существенно отличается от речи по частоте и его общий уровень постоянен (шум в автомобиле), то для реализации модуля подавления шумов в настоящей работе имеет смысл использовать фильтр Винера. При выявлении частотных компонентов шума, проводится их ослабление в общем спектре сигнала. Когда шумовые и полезные частотные компоненты наблюдаются одновременно, фильтр Винера вычитает сохраненный ранее шумовой сигнал из текущего общего сигнала. Таким образом, этот метод может снижать и частотные компоненты полезного сигнала.

Если придерживаться теории, то существует возможность полностью отфильтровать шумовые составляющие, но на практике это не удается. При фильтрации звук речи может терять свою естественность, или могут слышаться тональные частотные компоненты.

#### Модуль подавления шумов для систем звукозаписи

Каждый из проанализированных методов имеет не только свои недостатки, делающие их по отдельности непри-

годным для эффективного использования, но и достоинства, которые дают возможность комбинации данных методов с некоторыми изменениями. Одна из возможных схем комбинации легла в основу разработанного авторами статьи модуля, схема установки которого представлена на рисунке 5.

Два микрофона, находящиеся на расстоянии 20 сантиметров друг от друга, записывают сигналы, находящиеся в ареале доступа, причем один из микрофонов находится в непосредственной близости к источнику полезного сигнала. В записываемом сигнале могут присутствовать как полезные, так и шумовые составляющие. Далее записанные аудиофайлы поступают на компьютер, где в программе MATLAB происходит их фильтрация. После применения алгоритмов, загруженных в используемую программу, на выходе выдается конечный аудиофайл с удаленным шумом. Сам же динамик, в свою очередь, воспроизводит полученный файл для проверки качества фильтрации.

Для записи сигнала, были приобретены две пары гарнитур, модели GAL HM-008nd. Данная модель характеризуется своей низкой стоимостью [3]. Именно эта особенность и стала ключевой в выборе гарнитуры. Характеристики модели представлены в таблице 1.

Алгоритм шумоподавления является сочетанием нескольких приемов шумоподавления: применение двух микрофонов, выравнивание сигналов разных микрофонов по корреляции, учет сдвига фаз между гармониками сигналов разных микрофонов для дополнительной фильтрации шумов, динамический расчет усредненного спектра шума по текущему фрагменту обрабатываемого сигнала, фильтр Винера для вычитания спектров. Разработанная схема фильтра приведена на рисунке 6.

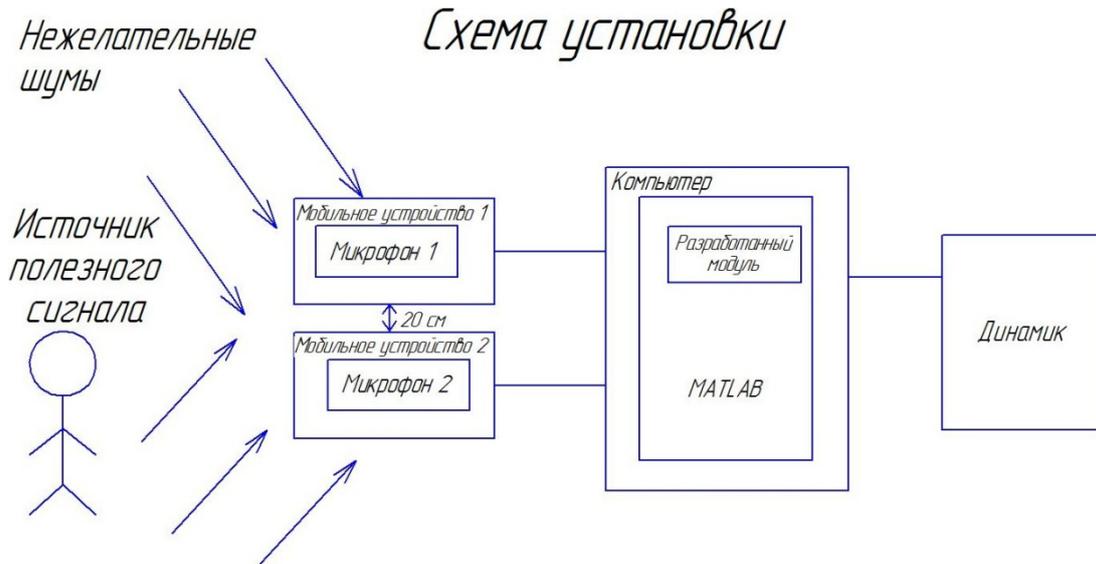


Рис. 5. Схема установки

Таблица 1. Характеристики гарнитуры

Тип	Канальные
Тип кабеля	Симметричный
Тип подключения	С проводом
Длина кабеля	1.2 м
Разъем	mini jack 2.5 mm
Чувствительность микрофона	— 55 дБ
Импеданс	32 Ом
Чувствительность	95 дБ
Частота	20–18000 Гц
Максимальная мощность	50 мВт

### Схема установки фильтра

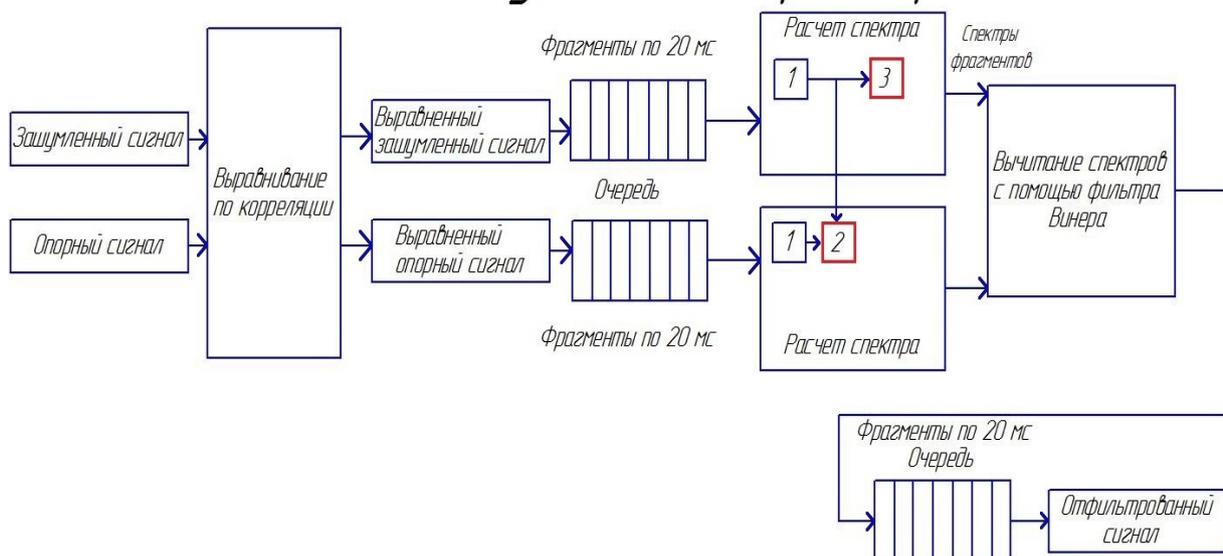


Рис. 6. Схема включения фильтра

В работе, для подавления нежелательного сигнала (шума), используется два микрофона. Первый микрофон расположен в непосредственной близости к источнику полезного сигнала, а второй — на расстоянии в 20 сантиметров от первого. В данном случае можно воспользоваться спектральным вычитанием фрагментов одного сигнала от другого.

На рисунке 7 приведен звуковой сигнал, записанный на первый микрофон в условиях уличной суеты, а на рисунке 8 — звуковой сигнал со второго микрофона, расположенного ближе к источнику полезного сигнала. Причем, как на первой, так и на второй аудиозаписи, присутствует нежелательный сигнал. На графиках присутствует шум от автомобилей.

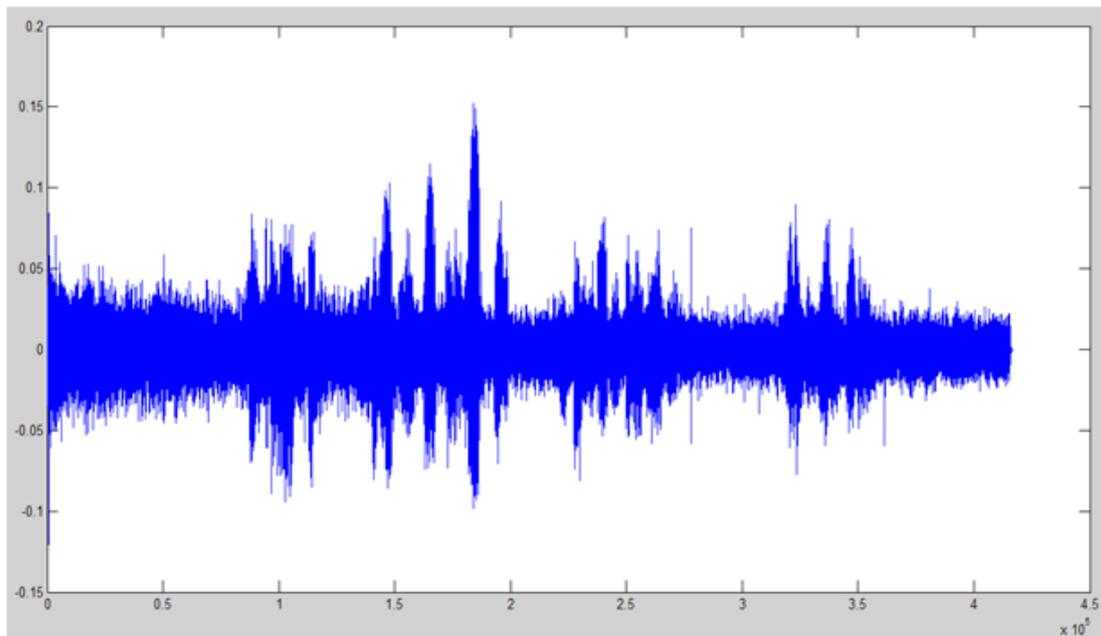


Рис. 7. График первой аудиозаписи в уличных условиях

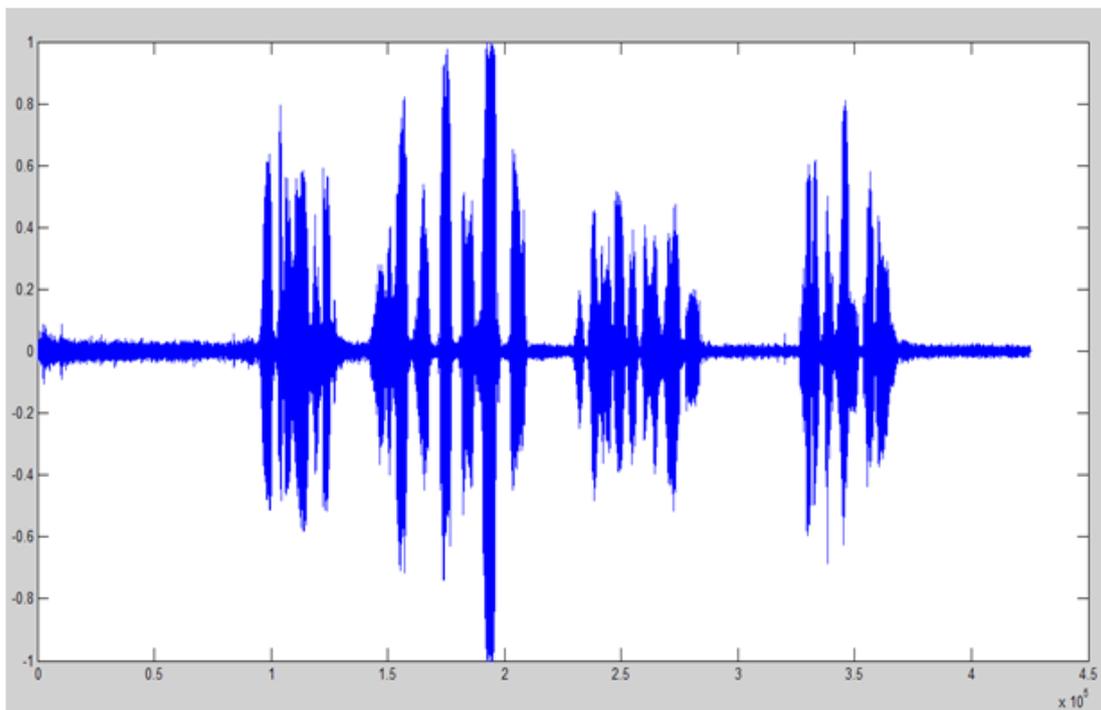


Рис. 8. График второй аудиозаписи в уличных условиях

Шумовых составляющих в вагоне метро намного больше, нежели на улице. На рисунке 9 можно увидеть график первой аудиозаписи, сделанной в вагоне метро, на рисунке 10 — второй аудиозаписи.

Корреляционная зависимость — статистическая взаимосвязь двух и более случайных величин. Суть заключается в том, что при изменении значения одной переменной, происходит закономерное изменение другой переменной [4].

Корреляция необходима для выравнивания двух записей по времени. Среда разработки — MATLAB, по-

зволяет выполнить данную операцию с высоким быстродействием. Для данной операции используется команда «xcorr» [5]. Фрагмент кода выравнивания по корреляции, представлен в листинге 1.

В данном фрагменте кода имеется такой параметр, как «lagDiff». Он характеризует смещение одного сигнала относительно другого [6]. Двусторонняя проверка на достоверное центрирование является необходимым условием для стабильного выравнивания по корреляции. Результат проделанной операции изображен на рисунке 11.

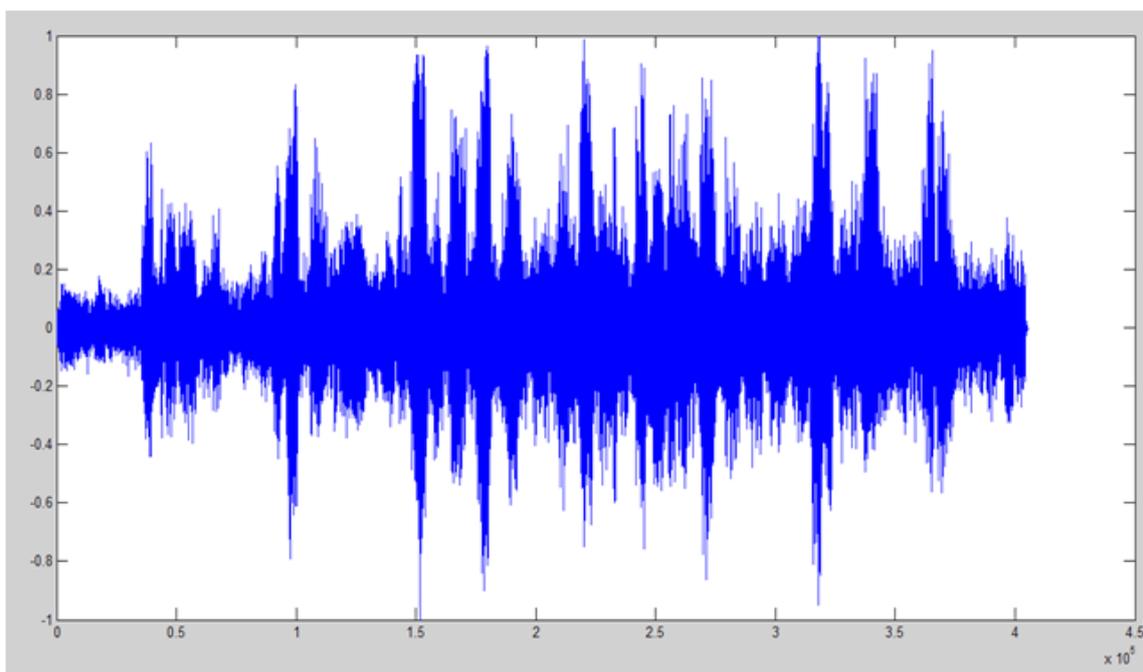


Рис. 9. График первой аудиозаписи в метро

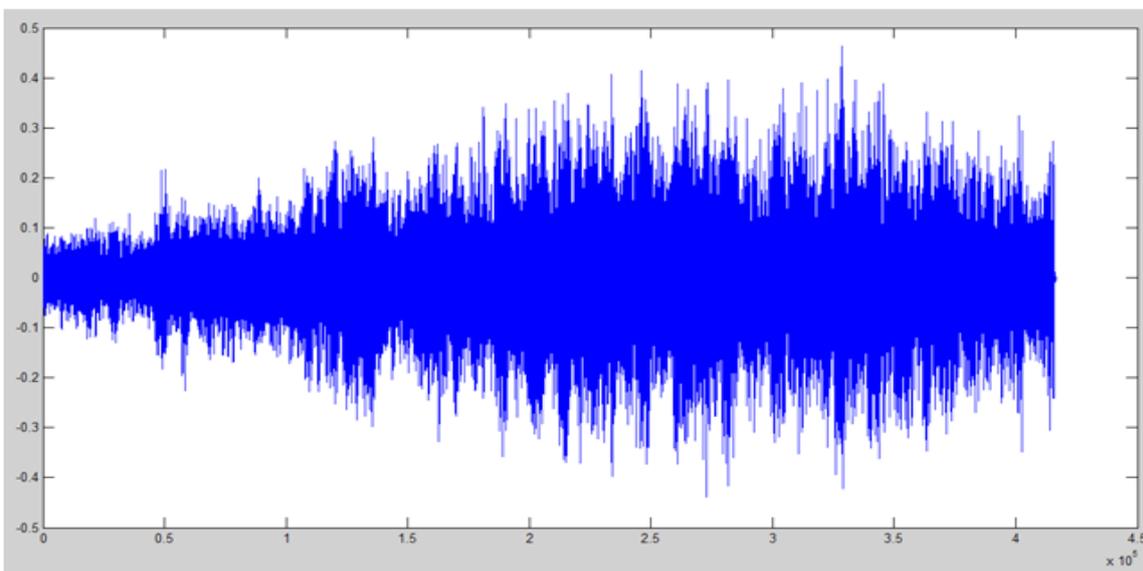


Рис. 10. График второй аудиозаписи в метро

```
[corr, lags] = xcorr(voice0, noise0);  
[corr_max, index_max] = max(abs(corr));  
lagDiff = lags(index_max)  
plot(lags, corr), grid on
```

Листинг 1 — Выравнивание по корреляции

Максимальное значение параметра «lagDiff» приблизительно равно 2700. Данное значение характеризует степень корреляции между сигналами. Чем выше значение параметра, тем лучше центровка. Ось абсцисс показывает насколько нужно сдвинуть первый сигнал, относительно второго для выравнивания по фазе.

После корреляции выровненные сигналы разбиваются на фрагменты по 20 мс. Это делается для эффективного подсчета по текущему участку сигнала, при этом, для достоверного вычисления, каждый следующий фрагмент перекрывается предыдущим на 50 процентов. Сигналы, разбитые на фрагменты, поступают на предварительный этап фильтрации. Тут последовательно выполняются несколько процессов, таких как: быстрое преобразование Фурье, учет сдвига фаз для подавления шумов, расчет усредненного спектра шума по последним 30 фрагментам шумового сигнала.

Быстрое преобразование Фурье, далее БПФ, это алгоритм быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье (ДПФ), то есть алгоритм вычисления за количество действий меньше чем требуемых для прямого (по формуле) вычисления ДПФ. Реже, под БПФ понимается один из быстрых алгоритмов, прореживаемый по частоте и времени, или алгоритмом по основанию 2 [7].

Преобразование Фурье принимает входную функцию  $f$  во временной области и преобразует ее в новую функцию в частотной области (рис. 12). Другими словами, исходная функция может рассматриваться как амплитуда в данный момент времени, а после преобразования Фурье — как амплитуда заданной частоты. На рисунке 13 показано приближение с 6 компонентами прямоугольной волны в 6 волн. Эти частотные составляющие показывают очень острые пики в частотной области (рис. 14) [8].

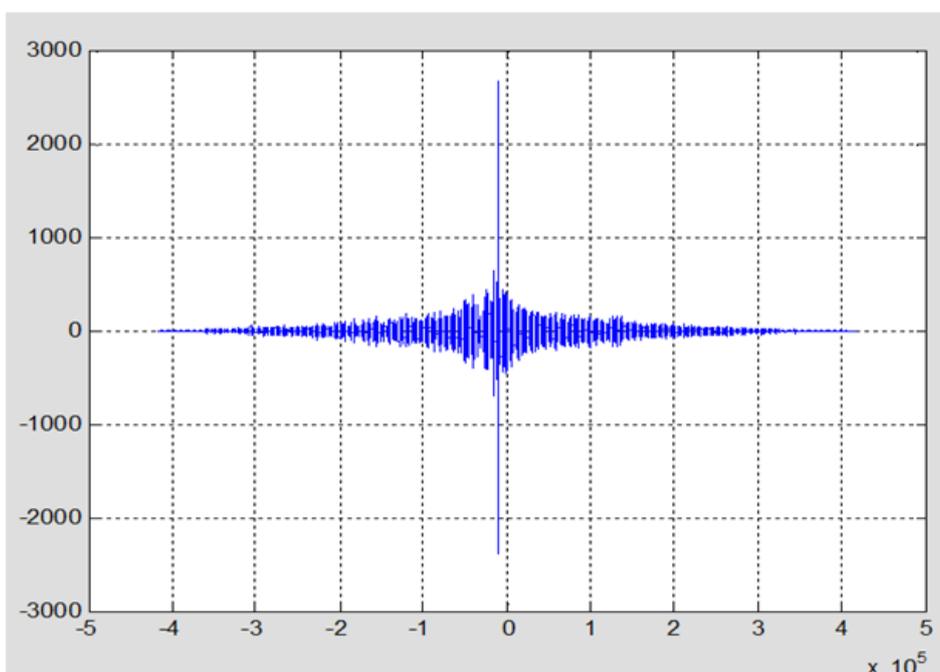


Рис. 11. Коэффициент корреляции

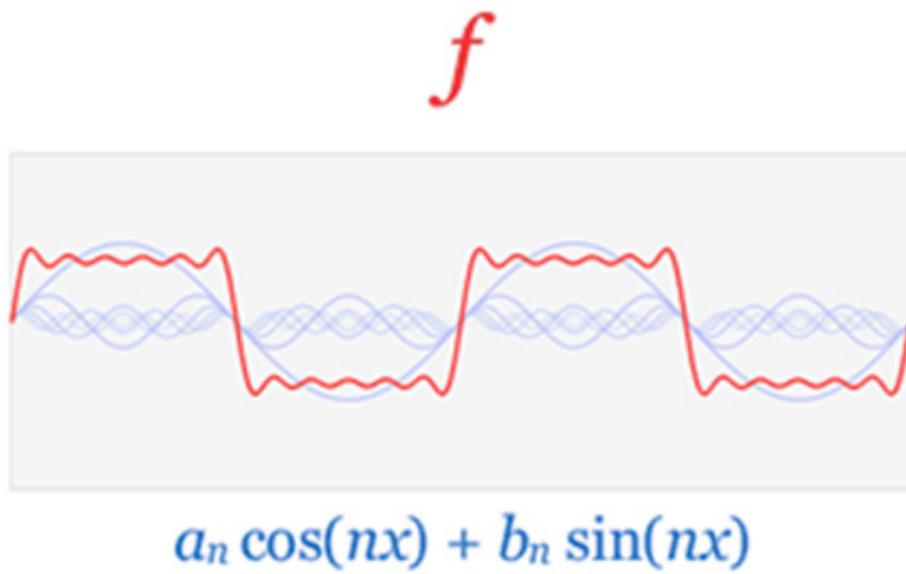


Рис. 12. Первый этап преобразования Фурье

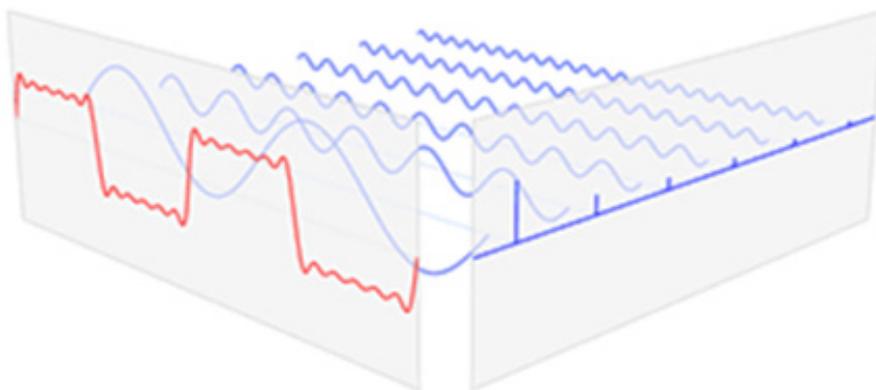


Рис. 13. Разложение волн



Рис. 14. Результат преобразования

Если фазы двух переменных величин изменяются во времени периодически и с одинаковой частотой, то необходимо учитывать их сдвиг. Это разность между начальными фазами соответствующих гармоник опорного и зашумленного сигналов [9].

Для надежности системы учитывается усреднение спектра шума по последним 30 фрагментам шумового сигнала. Данный алгоритм расчета гарантирует достоверные

результаты и стабильные характеристики перед основным этапом фильтрования.

Как уже говорилось ранее, фильтр Винера используется, когда на входе системы действует помеха и полезный сигнал, которые являются коррелированными между собой стационарными случайными процессами с равными нулю средними значениями.

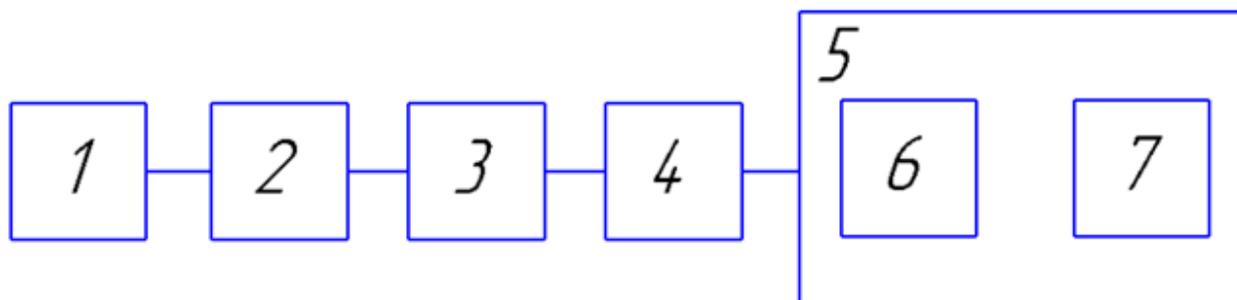


Рис. 15. Блок-схема фильтра Винера

Блок-схема фильтра, приведенная на рисунке 15, имеет следующие компоненты:

- 1 — отношение сигнал/шум для спектрального составляющего сигнала и шума;
- 2 — сглаживание резких скачков спектральных составляющих между соседними фрагментами сигнала;
- 3 — расчет отношения сигнал/шум после сглаживания;
- 4 — расчет коэффициентов фильтра Винера;
- 5 — применение фильтра к текущему фрагменту сигнала;
- 6 — расчет спектра обработанного сигнала;
- 7 — расчет фрагмента обработанного сигнала с помощью обратного преобразования Фурье.

Сглаживание спектра производится исходя из того, что спектры речевого сигнала не могут изменяться скачком, только плавно. Благодаря этому, можно отбрасывать кратковременные скачки амплитуд отдельных гармоник сигнала, как неправдоподобные. Коэффициенты фильтра Винера принимаются равными по отношению амплитуд для соответствующих гармоник спектров опорного и зашумленного сигналов. Применение фильтра к текущему сигналу приводится к умножению амплитуд гармоник сигнала на соответствующие коэффициенты фильтра.

График сигнала в метро, до фильтрации, представлен на рисунке 16. Зашумленный сигнал нужно вычистить из опорного сигнала.

Результат выполнения фильтрации при помощи фильтра Винера показан на рисунке 17. Как мы видим, шумовые составляющие удалились, при этом полезный сигнал не был сильно искажен.

Сигнал, записанный на улице, также был отфильтрован фильтром Винера, график представлен на рисунке 18.

Результат фильтрации сигнала, сделанной на улице, показан на рисунке 19. Анализируя полученный результат, видим, что шумовые составляющие удалились, причем качество полезного сигнала не изменилось.

Специально для разработанного проекта была написана программа, которая вычисляет отношение сигнал/шум при вводе входных параметров, отчетов. Функция «voice\_to\_noise\_ratio» вычисляет отношение сигнал-шум для звукозаписи с заданными границами участков голоса и тишины. Исходными данными являются:

- signal — массив отчетов сигнала;
- voice\_noise\_intervals — матрица  $N \times 2$ , в строках границы интервалов сигнала, содержащие речь;
- only\_noise\_intervals — матрица  $M \times 2$ , в строках границы интервалов сигнала, не содержащие речь.

В случае с записью, сделанной на улице, отношение сигнал/шум был равен 23.3593, после фильтрации, его значение увеличилось в 2 раза — 43.2139. Это значит, что после фильтрации шумовые составляющие удалились, и качество записи улучшилось в 2 раза. Результаты значения отношения/шум приведены в децибелах.

Отношение сигнал/шум записи, сделанной в метро, был равен 4.9645. После фильтрации его значение увеличилось в 6 раз — 29.4566. Это значит, что после фильтрации шумовые составляющие удалились.

Запись сигнала с шуршанием пакета, также прошла данную проверку. Значение отношения сигнал/шум до фильтрации была равна 19.5865, после — 27.5628. Отношение сигнал/шум улучшилось в 1.5 раза.

#### Выводы

Все устройства записи, как аналоговые, так и цифровые, обладают свойствами, которые делают их восприимчивыми к шуму. Шум может быть случайным и не ко-

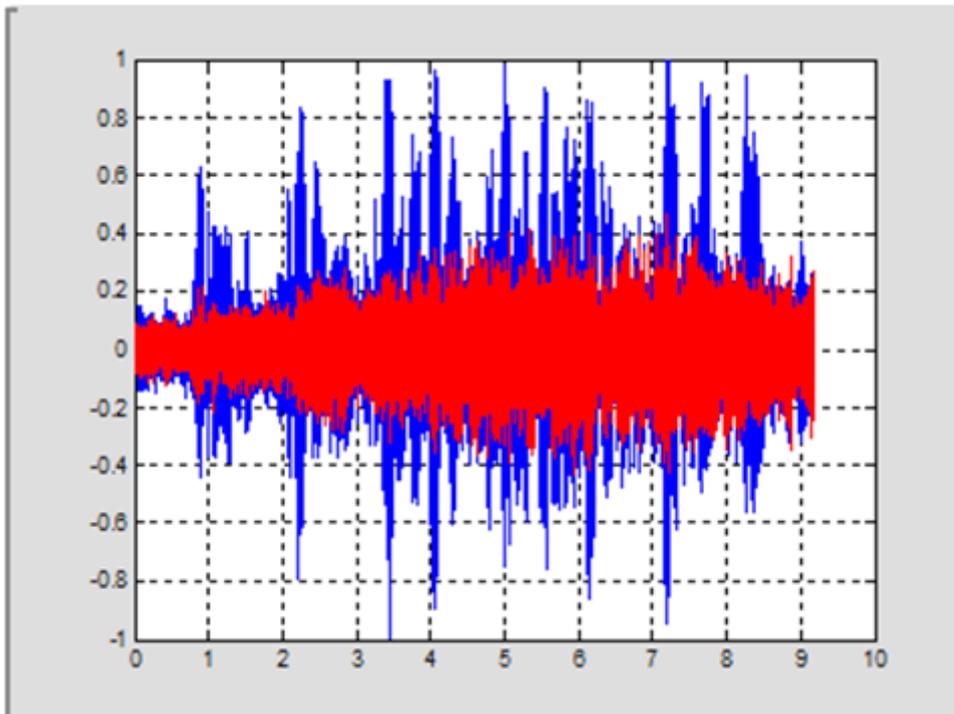


Рис. 16. Сигнал в метро до фильтрации

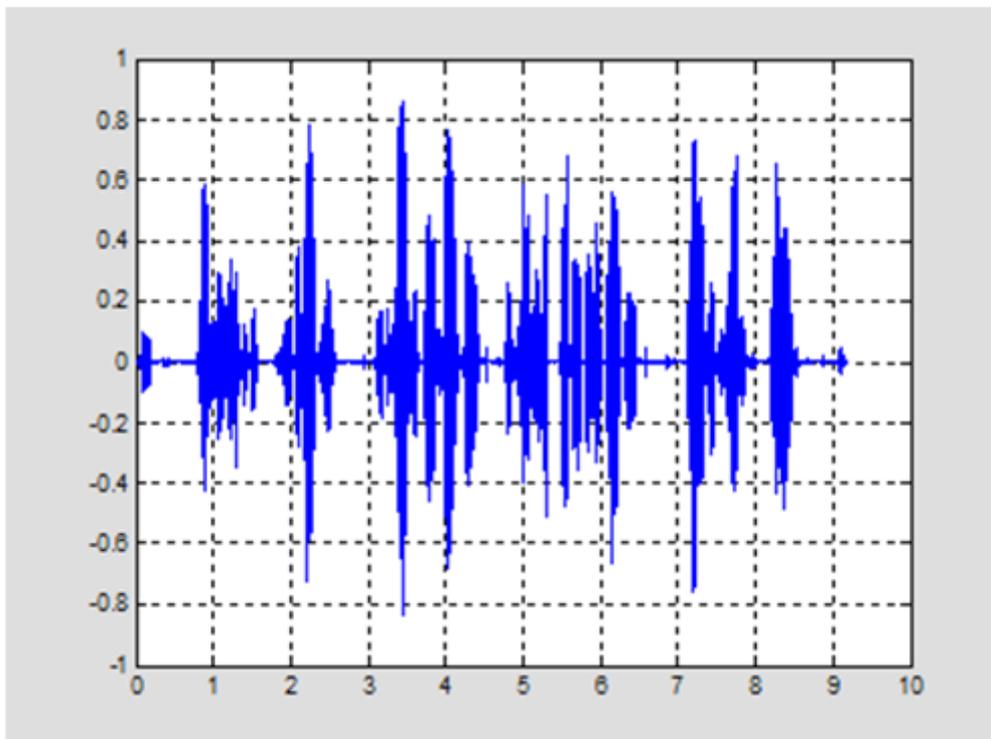


Рис. 17. Отфильтрованный сигнал в метро

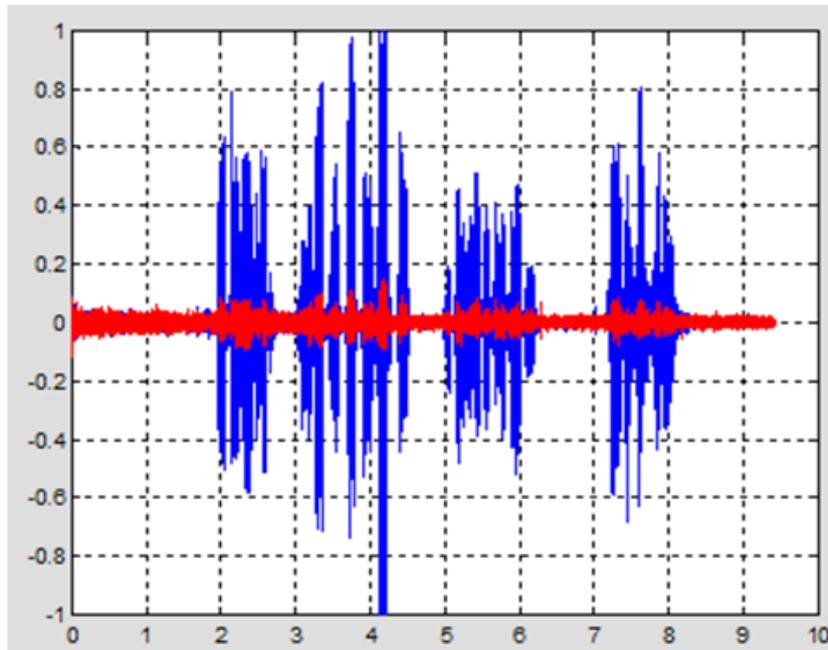


Рис. 18. Уличный сигнал до фильтрации

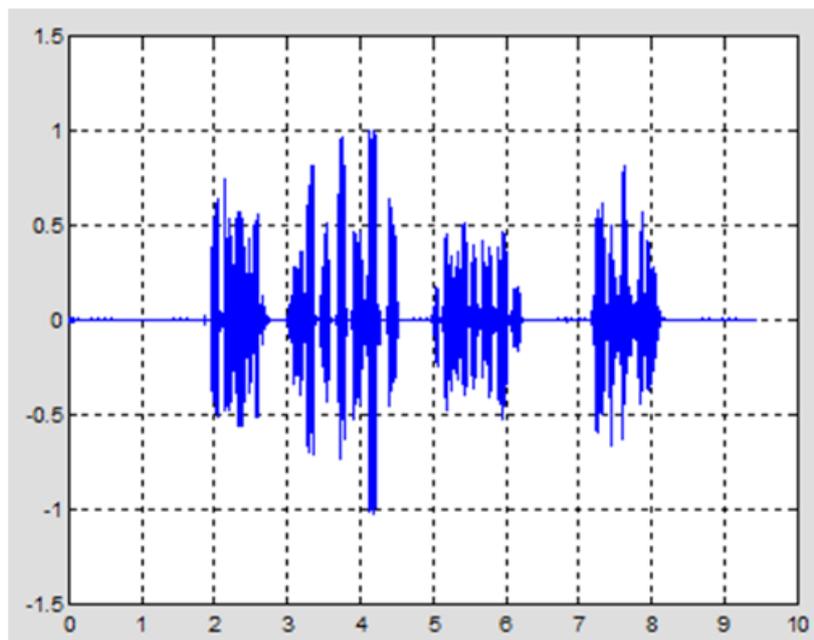


Рис. 19. Отфильтрованный сигнал на улице

герентным, то есть не связанный с самим сигналом, или когерентным, вносимый устройствами записи и алгоритмами обработки.

В работе были рассмотрены существующие методы по решению данной проблемы, проблемы шумоподавления и предложен свой вариант модуля шумоподавления, приве-

дены основные графики сигналов до фильтрации и после, для визуального сравнения. Одним из немаловажных этапов любой разработки является тестирование. Тестирование разработанного модуля показало, что алгоритм шумоподавления работает корректно и все результаты являются правдоподобными.

```
function snr = voice_to_noise_ratio(signal, voice_noise_intervals,
only_noise_intervals)
    EvCount = 0;
    Ev = 0;
    for k = 1 : size(voice_noise_intervals, 1)
        jstart = voice_noise_intervals(k, 1);
        jstop = voice_noise_intervals(k, 2);
        EvCount = EvCount + jstop - jstart + 1;
        for j = jstart : jstop
            Ev = Ev + signal(j)*signal(j);
        end
    end
    EnCount = 0;
    En = 0;
    for k = 1 : size(only_noise_intervals, 1)
        jstart = only_noise_intervals(k, 1);
        jstop = only_noise_intervals(k, 2);
        EnCount = EnCount + jstop - jstart + 1;
        for j = jstart : jstop
            En = En + signal(j)*signal(j);
        end
    end
    snr = 10*log10((Ev - En) / En);
```

Листинг 2. Отношение сигнал/шум

## Литература:

1. Частота голоса [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Частота\\_голоса](https://ru.wikipedia.org/wiki/Частота_голоса)
2. А. А. Воронов, Д. П. Ким, М. Лохин и др. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. Под редакцией А. А. Воронова. — 2-е издание, перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 504 с.
3. Гарнитура GAL HM-008nd [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.auchan.ru/pokupki/garnitura-gal-hm-008nd-chernyj.html>
4. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. Р. А. Шмойловой. — 3-е издание, переработанное. — Москва, 2002. — 560. — ISBN 5-279-01951-8.
5. Buck, John R., Michael M. Daniel, and Andrew C. Singer. Computer Explorations in Signals and Systems Using MATLAB. 2nd Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
6. Stoica, Petre, and Randolph Moses. Spectral Analysis of Signals. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2005.

7. Теория электрической связи: учебное пособие / К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов, А. Г. Нестеренко; под общ. ред. К. К. Васильева. — Ульяновск: УлГТУ, 2008. — 452 с.
8. Fourier transform time and frequency domains. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fourier\\_transform\\_time\\_and\\_frequency\\_domains\\_\(small\).gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fourier_transform_time_and_frequency_domains_(small).gif)
9. S. Jeong, H. Yang, M. Hahn. Two-channel noise reduction for robust speech recognition in car environments. — 2002.

## Технико-экономическое обоснование строительства ГАЭС в Узбекистане

Джураев Курбон Салихджанович, старший преподаватель;  
Мукольянц Арсен Артёмович, доцент;  
Абдуалиев Ахрор Йигиталиевич, магистрант  
Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан)

*В статье представлен анализ современного состояния режимов работы гидроэнергетического комплекса и электроэнергетической системы Узбекистана.*

*Обоснована необходимость повышения маневренности подачи электроэнергии, которая обеспечивается высокоманевренными гидроаккумулирующими электростанциями. Предложено технико-экономическое обоснование по строительству ГАЭС на территории Узбекистана.*

**Ключевые слова:** водохозяйственные системы, гидроэнергетический комплекс, гидроузел, технико-экономического обоснования основных параметров ГАЭС, прибыль, турбинный режим, насосный режим, алгоритм расчёта, математическая модель

В условиях Узбекистана дефицит водных ресурсов диктует несколько иные условия, вызванные ростом водопотребления на фоне увеличения численности населения и требований охраны окружающей среды. Самым главным вопросом при освоении водных ресурсов всегда было удовлетворение потребностей водного хозяйства и питьевого водоснабжения. Поэтому на нынешнем этапе развития гидроэнергетики освоение гидроэнергетических ресурсов необходимо осуществлять на внутренних водотоках сезонного действия, в системах водохранилищ, на гидротехнических сооружениях без ущерба интересам ирригации и водоснабжения. Это, как показывают расчеты, намного уменьшает капиталовложения на освоение гидроэнергетических ресурсов и даёт возможность более полно использовать потенциал накопленного объёма воды.

По данным наших исследований выявлено, что во многих водохозяйственных системах (ВХС) — Туямуюн-ской, Талимарджанской, Кюмазарской, Гиссаракской, Чимкурганской, Андижанской и др. не обосновано теряется экологически чистая электроэнергия. Причиной является отсутствие научно-технических основ создания гидроэнергетических комплексов (ГЭК), обоснования параметров и эксплуатационных режимов этих объектов, а также необходимостью новых рациональных решений для повышения функциональных возможностей гидроэнергетических установок (ГЭУ) и регулируемых элементов гидротехнических сооружений [1].

Рассмотрим некоторые варианты технологических основ создания ГЭК для производства и аккумулирования

энергии на существующих крупных ирригационных сооружениях республики.

### 1. Талимарджанское водохранилище на Каршинском магистральном канале.

Талимарджанское водохранилище расположено на юго-западной части Кашкадарьинской области, и оно предназначено для регулирования стока Каршинского магистрального канала. Полезный объём водохранилища 1,5 млрд. м<sup>3</sup>.

Приплотинная насосная станция № 7 служит для наполнения Талимарджанского водохранилища, и она работает 6 месяцев в году, а в остальное время года вода будет полностью проходить по обводному каналу с максимальной пропускной способностью 195 м<sup>3</sup>/с.

На насосной станции установлены центробежные насосы 2400 ВР — 25/25 и 1600 В — 10/40 с общей суммарной мощностью 64,8 МВт и подачей 142 м<sup>3</sup>/с. Отличительной особенностью насосов 2400 ВР — 25/25 является то, что они имеют регулируемые направляющие лопатки, установленные в конусе всасывающей трубы. Имеющиеся возможности и благоприятные условия в районе Талимарджанского водохранилища способствуют созданию ГЭК с гидроэнергетическими установками суточного и сезонного регулирования. При необходимости после соответствующей реконструкции насосную станцию № 7 можно использовать в турбинном режиме, т. е. в качестве сезонной ГАЭС. Наличие регулируемых направляющих аппаратов у насосных агрегатов станции заметно упрощает регулирование их мощности в турбинном режиме. В результате



Рис. 1. Схема Талимарджанского гидроэнергокомплекса

строительства этого ГЭК будет возможность выработать электроэнергию не менее 50000 МВт · ч в год [2].

### 2. Туямуюнский гидроузел на реке Амударья.

Гидроузел находится в нижнем течении р. Амударья (рис. 2) и представляет собой сложный многокомпонентный объект ирригационного назначения, включающий взаимосвязанную систему водохранилищ и магистральных каналов, насосных станций для водо-снабжения и эксплуатируемую Туямуюнскую ГЭС руслового типа, расчетный напор которой 16,4 м, расход  $Q = 6 \times 190 \text{ м}^3/\text{с}$ . Развиваемая мощность  $N = 6 \times 25 \text{ МВт}$ . Система водохранилищ состоит из руслового и трех наливных: Капарас, Султанджар и Кошбулак. Максимальный напор на канале для энергетического использования 10 м.

Перепад на правобережном магистральном канале (ПК) составляет 6,1 м. Максимальный среднемесячный

расход составляет  $76 \text{ м}^3/\text{с}$ . Канал осветленной воды рассчитан на пропуск  $500 \text{ м}^3/\text{с}$  из Султанджарского наливного водохранилища в реку Амударья ниже Туямуюнской ГЭС. Длина канала 9 км, ширина по дну 41,5 м.

При составлении проекта Туямуюнского гидроузла с ГЭС возможности более полного использования гидроэнергетического потенциала не были рассмотрены.

В связи с этим, учитывая благоприятные условия в районе гидроузла, предлагается схема переустройства его в ГЭК. Расчеты показывают, что в результате строительства этого комплекса появится возможность увеличить выработку электроэнергии на 350 ГВт/год.

### 3. Арнасайское водохранилище реке Сырдарья.

Одним из таких потенциальных объектов является Арнасайское водохранилище, предназначенное для орошения части земель Мирзачульского, Арнасайского и

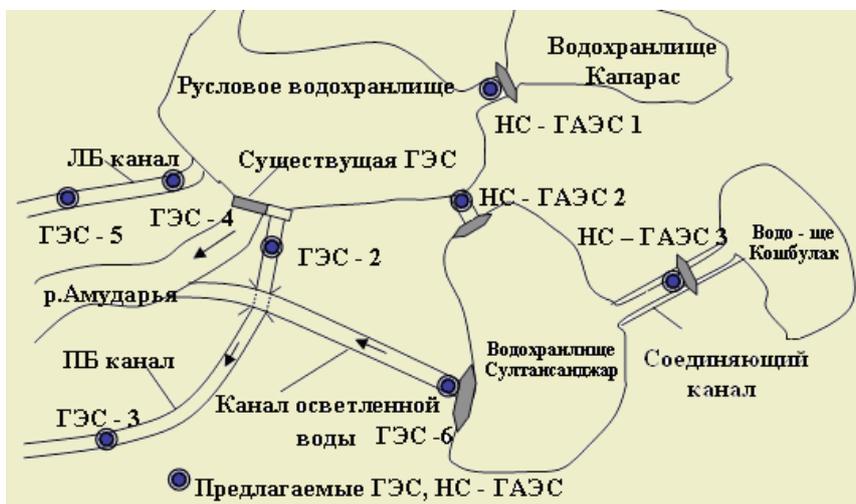


Рис. 2. Схема Туямуюнского гидроэнергокомплекса

Фаришского туманов (районов) Джизакского вилоята (области) общей площадью 40 тыс. га. Водохранилище предназначено для внутригодового перераспределения стока.

Следуя из условия обеспечения полива 40 тыс. га, при проектном КПД 82%, требуемый объём составляет 285 млн. м<sup>3</sup> воды, а остальной полезный объём водохранилища 190 млн. м<sup>3</sup>, находится в резерве и по нашему мнению может быть использован для выработки электроэнергии.

На основе обобщённой методики математического определения и расчёта основных параметров ГАЭС была разработана программа расчёта по технико-экономиче-

скому обоснованию основных параметров ГАЭС. Программа включает в себя — подпрограмму расчёта энергогидравлических параметров ГАЭС, подпрограмму расчёта определения номинальной мощности и энергии ГАЭС, экономически выгодного диаметра напорного трубопровода, подпрограмму расчёта основных экономических показателей ГАЭС. На рис. 3. представлены графические зависимости выработки электроэнергии и приведённый доход от работы ГАЭС на основе результатов по программе расчёта технико-экономического обоснования основных параметров ГАЭС.

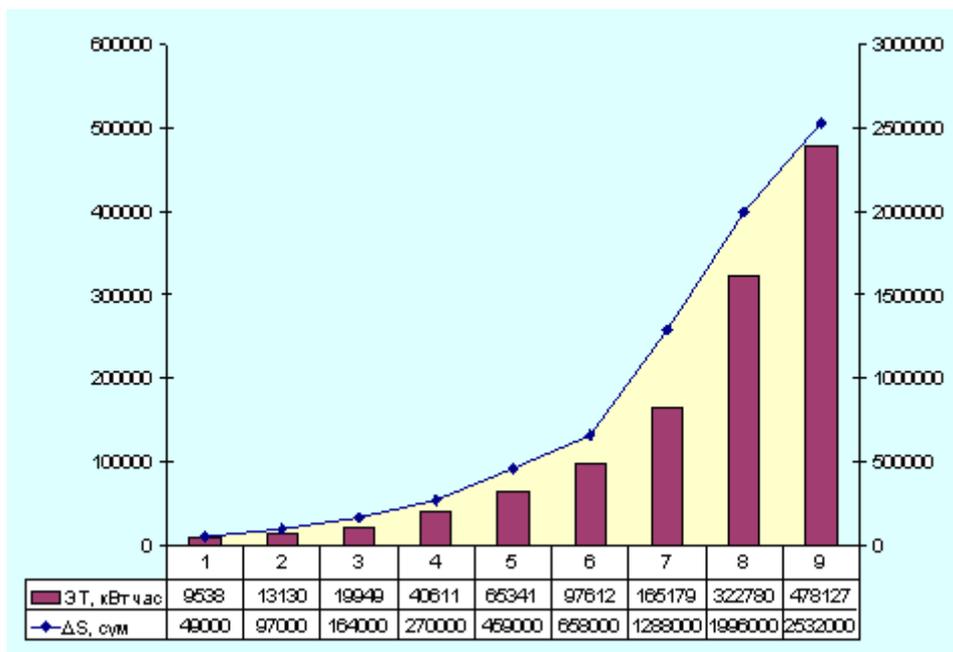


Рис. 3. Математические зависимости приведённого дохода от выработки электроэнергии ГАЭС

Анализ результатов экономических расчётов показал, что средневзвешанное значение прибыли, работы станции, составляет 5%. Анализ режимов работы ГАЭС в насосном режиме представленный на рис. 4, показал, что наилучшие эксплуатационные характеристики наблюдаются при средних и малых подачах ГАЭС.

Представлены расчётные характеристики ГАЭС в турбинном режиме эксплуатации станции, на основе которых построены математические зависимости характеристик станции, рис. 5 и 6.

На основе разработанной математической модели и комплекса программ расчёта, задач по определению и обоснованию основных технико-экономических параметров ГАЭС, было произведено выбор основных гидросиловых оборудование для ГАЭС, с учётом особенностей гидрокомплекса и его режимных характеристик.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- на основе анализа современного состояния режимов работы гидроэнергетического комплекса и режимов работы электроэнергетической системы Узбекистана, обоснована необходимость повышения маневренности подачи электроэнергии, которая обеспечивается высокоманевренными гидроаккумулирующими электростанциями;
- разработан алгоритм расчёта определения и обоснования технико-экономических параметров ГАЭС;
- разработана математическая модель и комплекс программ расчёта задач по определению и обоснованию основных технико-экономических параметров ГАЭС.
- разработаны рекомендации по проектированию технологической части гидроаккумулирующих электростанций, с учётом региональных особенностей.

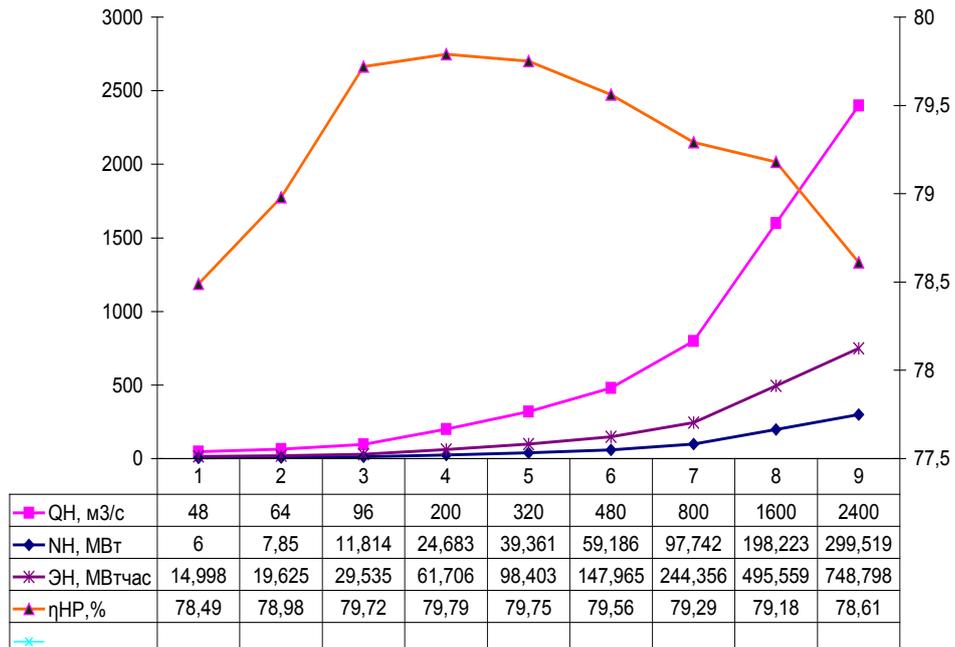


Рис. 4. Основные характеристики работы ГАЭС в насосном режиме

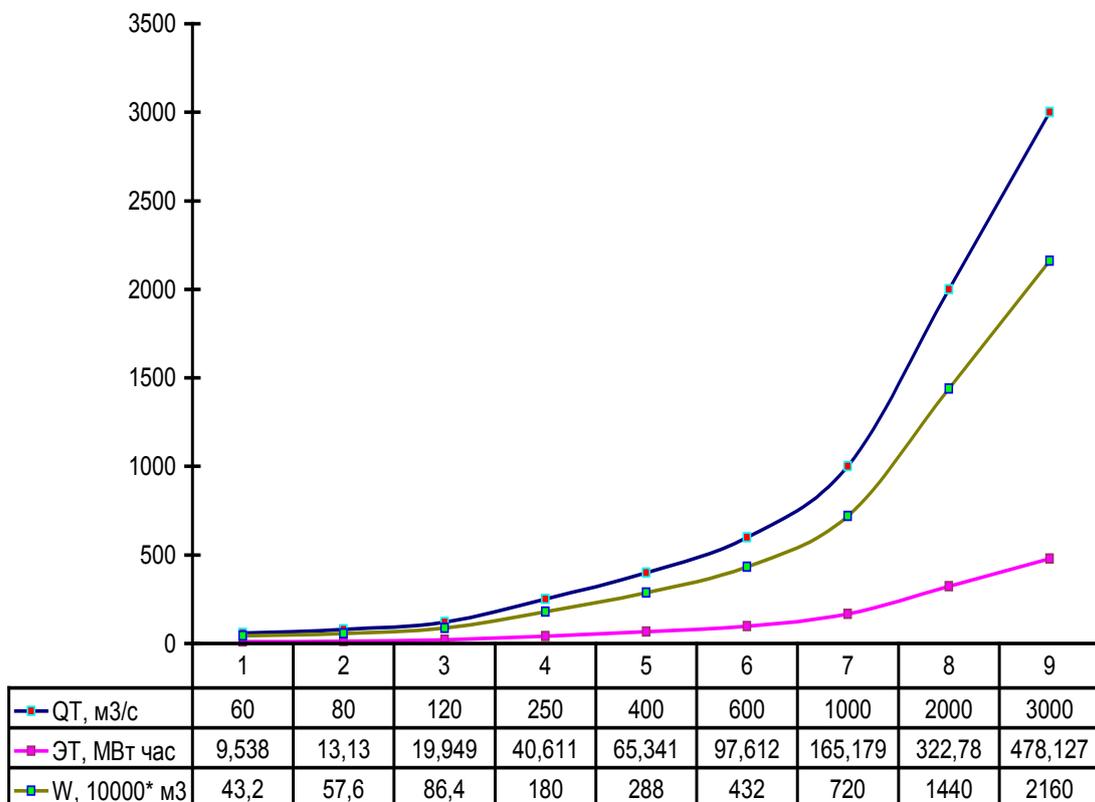


Рис. 5. Расходная характеристика ГАЭС, в турбинном режиме эксплуатации

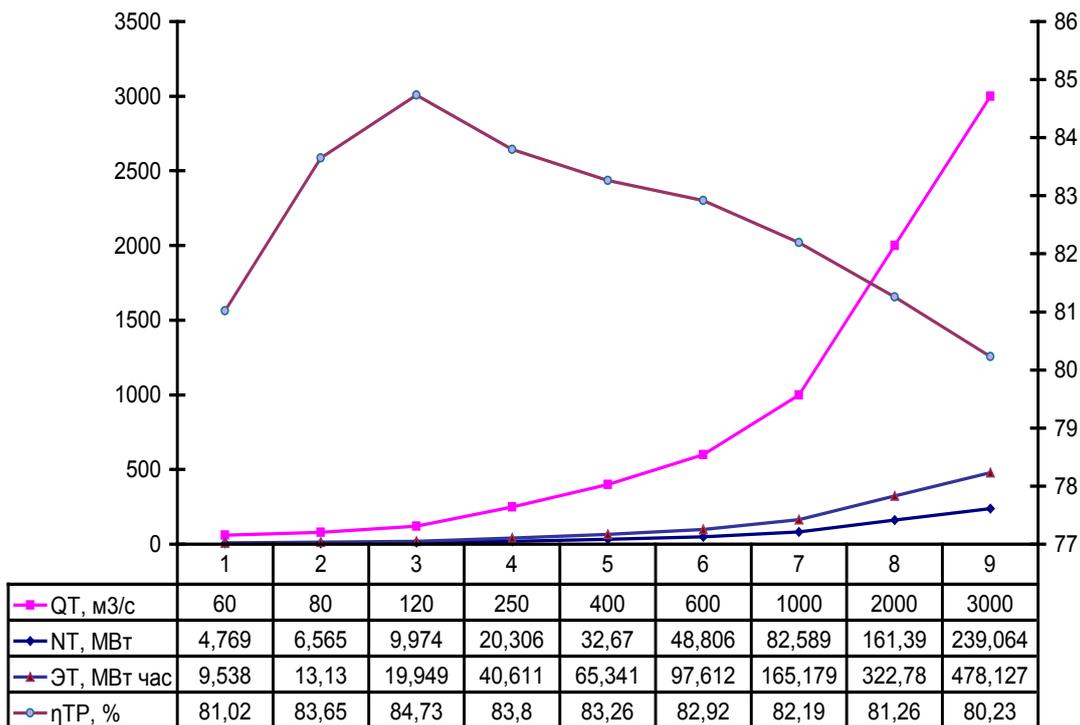


Рис. 6. Основные характеристики работы ГАЭС в турбинном режиме

Литература:

1. Мухаммадиев, М. М., Халматов В. А., Джураев К. С. Проблемы развития гидроэнергетических комплексов // Современное состояние и перспективы развития энергетики: тезисы докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Ташкент. 18–20 дек. 2006 г.). — Ташкент, 2006. — с. 125–128.
2. Джураев, К. С., Мукольянц А. А. Перспективы и особенности строительства ГАЭС в Узбекистане // Молодой ученый. — 2016. — № 27. с. 64–68.

### Практическое применение натуральных и искусственных тканей в жарком климате Узбекистана

Джураева Тахмина Саидовна, ассистент  
 Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Почти полгода, начиная с мая по октябрь в Узбекистане светит палящее солнце. А в Бухаре особенно, в летние дни погода жаркая. Чтобы как-то облегчить себе эти знойные месяцы люди больше пьют жидкость, купаются в бассейнах и водоемах, а также одеваются в легкую, «дышащую» одежду. Летом, на рынках Бухары хлопчатобумажная ткань пользуется большим спросом. Наряду с материалами из натуральных волокон, здесь используют ткани и химического происхождения. Так как в данной местности востребованной тканью является «вискоза», то для сравнения с хлопчатобумажным материалом мы выбрали именно её. Хлопчатобумажный *поплин* и искус-

ственная *вискоза*. В чем же заключается сходство и различие этих материалов?

Вискоза — это искусственная ткань из натурального сырья, целлюлозы (рис. 1,2). Впервые ее стали производить в конце 19 века. В наше время из неё шьют платки, блузки, платья, халаты, футболки, штаны, юбки. Вискоза имеет шелковистую текстуру и очень приятна к телу, не вызывает раздражения и аллергических реакций на коже при носке, не электризуется, не искрит, в одежде образует красивые складки, драпировки. Так как она произведена из натуральных компонентов, то отличается хорошими гигроскопичными свойствами, то есть хорошо и быстро впи-



Рис. 1. Ткань «Вискоза»



Рис. 2. Ткань «Вискоза»

тывает влагу. Полотно очень гладкое, за счёт чего изделия долго не пачкаются. Цвета длительное время остаются яркими.

У вискозы есть и свои минусы. В основном это быстрая сминаемость, после стирки даёт усадку до 10%, а также в чистом виде при увлажнении становится менее прочной. Важно отметить, что вискоза — это самый натуральный материал из всех искусственных. Древесина — вот главный компонент вискозы. Современное производство претерпело некоторые изменения, однако, основы остались неизменными — сырьём является древесная целлюлоза, обработанная химическими средствами. Название «вискоза» произошло от латинского *viscosus* — вязкий, так как после обработки целлюлоза приобретает тягучесть, вязкость.

Чтобы сформировать древесину в нить производители перерабатывают сырьё в несколько этапов.

— Подготовка целлюлозы. Для начала древесину сушат, нарезают на мелкую щепку и отваривают в щелочном растворе. Затем отжимают и измельчают.

— Получение прядильного раствора. Масса проходит этапы обработки сероуглеродом и созревания, в процессе которого становится вязкой и теряет устойчивость к действию кислотных растворов. В это же время в массу добавляют красители или матирующие элементы.

— Формовка нити мокрым методом. Получившаяся вискозная масса подаётся в прядильную машину, где про-

давливается через пластины с мельчайшими отверстиями (фильеры) и отсаживается в ванну с кислотным раствором, струйки материала затвердевают, и получаются вискозные нити.

— Отделка и сушка. Нити промывают, отбеливают, обрабатывают мыльным раствором для придания мягкости, сушат и закручивают.

Как указывалось, выше, изделия из вискозы, по внешнему виду и на ощупь почти не отличаются от хлопчатобумажных изделий. А так как вискозная ткань намного легче и лучше проводит воздух, то летом больше имеет популярность, чем изделия из чистого хлопка. Это еще одна из причин широкого применения вискозного материала в Узбекистане.

Теперь хотелось бы рассмотреть пример хлопчатобумажной ткани.

В Средней Азии, да и не только, хлопчатобумажная ткань издавна применяется для пошива одежды. Натуральные ткани изготавливают из природных материалов, поэтому они приятны на ощупь, не раздражают кожу и экологичны.

Созданная французскими ткачами из Авиньона для пошива облачения Папы Римского и его свиты, ткань «Поплин» (*popalino*) (в переводе с итальянского языка означает «папский») так же, как и вискоза весьма востребованный товар для нашей местности с жарким климатом (рис. 3,4). Хлопчатобумажный поплин используют для



Рис. 3. Ткань «Поплин»



Рис. 4. Ткань «Поплин»

Таблица 1

Название ткани	Состав (сырьё)	Применение (изделия)	+	—
Вискоза	искусственное (вискоза)	платки, блузки, платья, халаты, футболки, штаны, юбки	1) мягкая 2) шелковистая 3) не вызывает раздражения и аллергических реакций 4) не электризуется 5) драпируется 6) быстро впитывает влагу 7) хорошо пропускает воздух 8) цвета длительное время остаются яркими 9) легкая	1) быстрая сминаемость 2) усадка до 10% 3) при увлажнении становится менее прочной 4) неустойчива к отбеливанию 5) достаточно быстрое изнашивание
Поплин	натуральное (хлопок)	постельное и нательное бельё, пижамы и ночные сорочки, платья, рубашки, блузки, халаты, сарафаны, шторы и кухонный текстиль	1) устойчив к отбеливанию 2) гладкий 3) плотный 4) выдерживает многократные стирки 5) меньше мнется 6) хорошо пропускает воздух и влагу 7) не подвержен статическому электричеству 8) цвета длительное время остаются яркими 9) не вызывает раздражения и аллергических реакций 10) легкий 11) имеет блеск 12) драпируется	1) сложность кроя 2) жесткий

шитья постельного и нательного белья, пижам и ночных сорочек, летней одежды (платья, рубашки, блузки, халаты, сарафаны), штор и кухонного текстиля.

«Папский материал» имеет следующие характеристики: плотный, но мягкий, гладкий и приятный на тело; износостойкий — благодаря плотной основе выдерживает многократные стирки и рассчитан на интенсивное применение с сохранением первоначальных данных; немнущийся, гигроскопичный — хорошо пропускает воздух и влагу, тело «дышит»; не подвержен статическому электричеству.

При производстве поплина любого состава используется самое простое плетение: нити утка и основы пересекаются через одну, в шахматном порядке. Секрет этой ткани заключается в различной толщине продольных и поперечных нитей (тонкая основа, более толстая —

уток). Благодаря этой особенности материал сочетает мягкость и прочность. Поверхность ткани имеет своеобразную бархатистость за счет едва заметных рубчиков, которые образуются при переплетении нитей разной толщины.

Чтобы лучше понять сходство и различие рассматриваемых материалов на основе вышеизложенных данных составим таблицу. (Таблица 1)

Да, у поплина больше плюсов, нежели у вискозы, однако это не уменьшает спроса на неё. Каждый из этих материалов имеет своего потребителя. Но важно отметить, что поплин больше используют для пошива постельного белья, штор и кухонного текстиля, ведь он плотнее. А летом, когда жарко, в платье из поплина немного «душно», чем в одежде из вискозы. Поэтому вискозную ткань, лучше и приятнее одевать, так как она легкая и мягкая.

#### Литература:

1. Перепелкин, К. Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы — СПб: Издание СПГУТД, 2008. — 354 стр.
2. Бузов, Б. А., Модестова Т. А., Алыменкова Н. Д. Материаловедение швейного производства: Учеб. для вузов, — 4-е изд., перераб и доп., — М., Легпромбытиздат, 1986—424.
3. <http://fufayka.net>

4. <http://xtkani.ru>
5. <http://textile.life>
6. <http://izvolokna.ru>
7. <http://tkaninfo.ru>
8. <http://textiletrend.ru>

## Режимы работы систем теплоснабжения жилых микрорайонов г. Новосибирска

Долбикова Анастасия Алексеевна, студент;

Кобякова Моника Касьяновна, студент;

Рафальская Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

*Рассмотрены режимы работы центрального теплового пункта одного из микрорайонов г. Новосибирска. Определен тепловой режим помещений для зданий, в индивидуальных тепловых пунктах которых осуществляется «связанная» и «не связанная» подача теплоты. Расчёты проводились при различных наружных температурах и переменном водопотреблении в системе горячего водоснабжения, с учётом тепловой аккумуляции зданий.*

***Ключевые слова** теплоснабжение, тепловая сеть, тепловой пункт, отопление, горячее водоснабжение, тепловой режим помещений, тепловая аккумуляция*

Для теплоснабжения г. Новосибирска принят проектный температурный график центрального регулирования тепловой нагрузки для всех ТЭЦ 150/70°C. Однако график имеет две срезки. Верхняя срезка на 114°C для ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 применяется в связи с изношенностью тепловых сетей, оборудования, нехваткой топлива, остановкой пиковых районных котельных.

Нижняя срезка температурного графика связана с необходимостью нагрева воды на горячее водоснабжение. Ранее она составляла 70°C, в соответствии с СП 41–101–95. «Правила по проектированию и строительству тепловых пунктов». Но в 2009 году были введены новые санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.2496–09 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Это было связано с обнаружением в трубопроводах горячего водоснабжения высоко контагиозных инфекционных возбудителей вирусного и бактериального происхождения, которые могут размножаться при температуре ниже 60°C. Было установлено, что температура горячей воды в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60°C и не выше 75°C в соответствии с СанПиН 2.1.4.2496–09, п. 2.4.

Для соответствия новым санитарным нормам и правилам были разработаны новые строительные нормы и правила СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий», которые совместно с СанПиН

2.1.4.2496–09 регламентируют температуру горячего водоснабжения.

Поэтому была поднята нижняя срезка температурного графика до 78°C. Наличие срезок повлияло на тепловой и гидравлический режим жилых микрорайонов.

В качестве примера были рассчитаны режимы работы теплового пункта ЦТП кл20/32 по ул. Народной в Калининском районе г. Новосибирска, обслуживаемого ТЭЦ-4. Расчётные тепловые нагрузки на отопление 5,219 МВт, на СГВ 3,294 МВт.

Схема теплосетей жилого микрорайона показана на рис. 1.

Особенностью ЦТП кл20/32 (рис. 2) является то, что жилые дома по ул. Народной 26/1, 28, 28/1, 30/1 имеют ИТП, где находятся смесительные насосы для систем отопления. Поэтому туда подводится вода из теплосети. Обратная вода после систем отопления поступает в ЦТП кл20/32 на I ступень теплообменников горячего водоснабжения, где смешивается с обратной водой после теплообменников II ступени СГВ и после систем отопления зданий 24, 26.

В ЦТП подводится вода из теплосети, обеспечивающая тепловую нагрузку II ступени СГВ всего микрорайона и отопления жилых домов 24 и 26.

Квартальные тепловые сети к жилым домам 26/1, 28, 28/1, 30/1 четырёхтрубные: обратная магистраль системы отопления, подающая и циркуляционная СГВ и холодный водопровод. Квартальные тепловые сети к жилым домам 24 и 26 пятитрубные: подающая и обратная маги-

Схема трубопроводов тепловых сетей от ЦТП-кл 20/32 (квартал 32а)

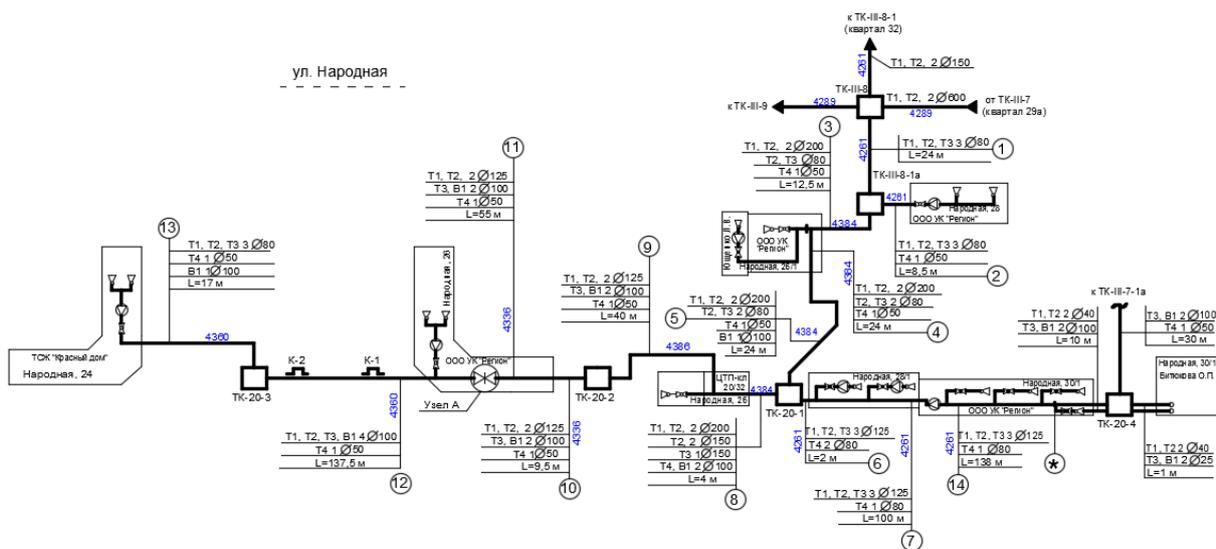


Рис. 1. Схема тепловых сетей от ЦТП кл20/32

стали системы отопления, подающая и циркуляционная СГВ и холодный водопровод.

Таким образом, в жилых домах 26/1, 28, 28/1, 30/1 осуществляется несвязанная подача теплоты в системы отопления, т. е. нагрузка СГВ не влияет на тепловую мощность системы отопления.

В жилых домах 24 и 26 осуществляется связанная подача теплоты: водопотребление в СГВ влияет на тепловую мощность системы отопления.

Схема теплового пункта показана на рис. 2.

Рассмотрим особенности режимов работы этого ЦТП.

Расчёт производился в программе MathCad [1, 2].

На рис. 3 показан график температур сетевой воды.  $\tau_1^{пр}$  — проектная температура в подающей магистрали теплосети;  $\tau_1^{факт}$  — фактическая расчётная температура в подающей магистрали теплосети с учётом срезов температурного графика;  $\tau_{c2}$  — температура сетевой воды после подогревателя СГВ II ступени;  $\tau_{o2}$  — температура смешанной воды после систем отопления и подогревателя СГВ II ступени;  $\tau_{o2}$  — температура воды после системы отопления;  $\tau_2$  — температура обратной воды, возвращаемой в тепловую сеть.

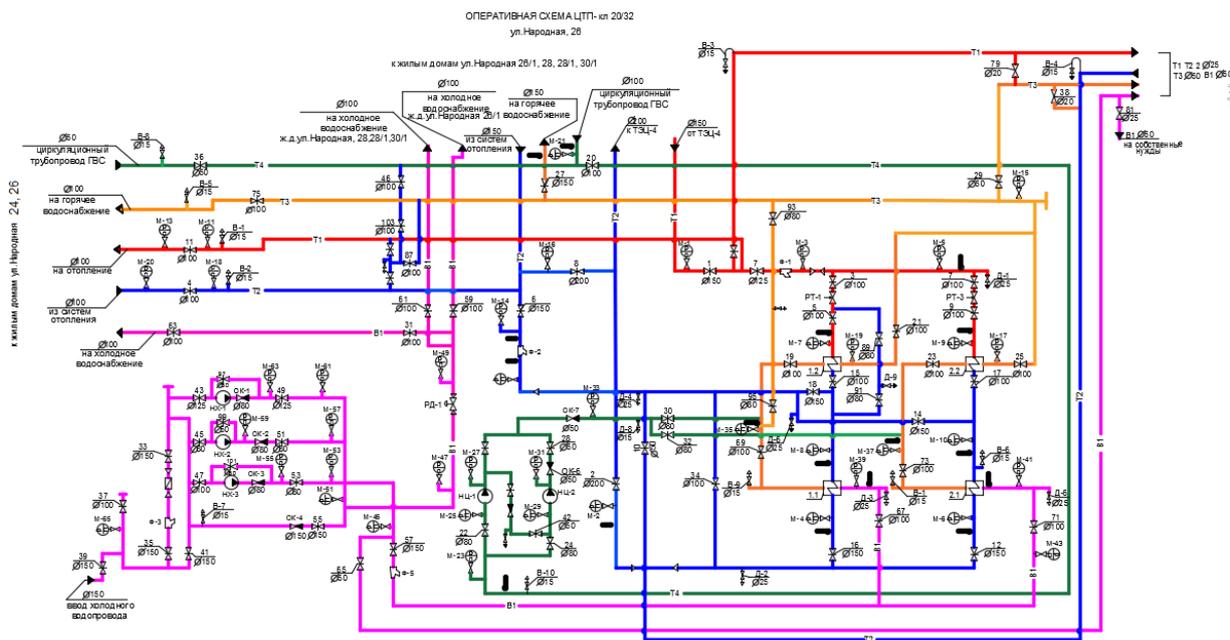


Рис. 2. Схема трубопроводов ЦТП кл20/32

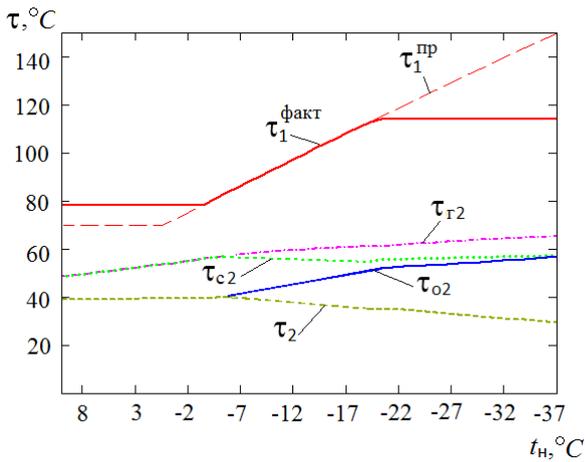


Рис. 3. График температур воды в ЦТП

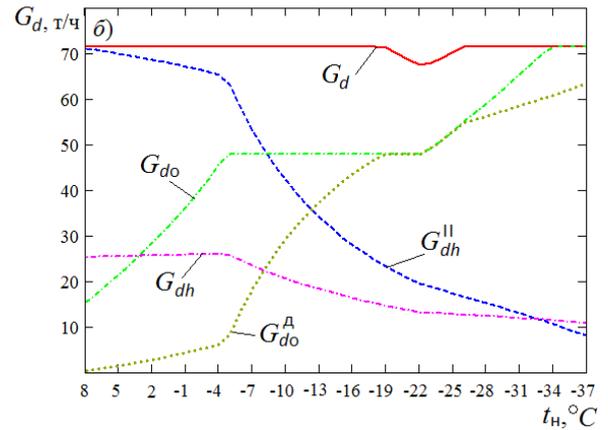


Рис. 4. Расходы сетевой воды

На рис. 4 показан график расходов сетевой воды. Поскольку применяется верхняя срезка температурного графика, при низких наружных температурах возможно увеличить расход воды из теплосети до расчётного значения, определяемого в точке излома температурного графика ( $Q_{\text{отmax}} + 1,2Q_{\text{hm}}$ ). На рисунке  $G_d$  — суммарный расход сетевой воды;  $G_{dh}^{\text{II}}$  — расход сетевой воды на II ступень СГВ;  $G_{do}$  — расход воды в отопительной сети домов 26/1, 28, 28/1, 30/1;  $G_{do}^A$  — расход воды в отопительной сети домов 24 и 26, где осуществляется связанная подача теплоты.

По графикам температур и расходов была определена тепловая мощность системы теплоснабжения микрорайона, рис. 5а, 5б.

На рисунках:  $Q_{do}^{\text{TP}}$  — требуемая тепловая мощность системы отопления, при которой температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий будет соответствовать  $t_{в}^p$ . При максимальном водопотреблении в СГВ тепловая мощность системы отопления  $Q_{do}^A$  минимальна.  $Q_h^{\text{II}}$  — тепловая мощность СГВ II ступени. Эту тепловую мощность (или её часть) можно направить в систему отопления при

водопотреблении ниже среднего;  $Q_{do}^{\text{расп}}$  — располагаемая тепловая мощность, равная сумме  $Q_{do}^A$  и  $Q_h^{\text{II}}$ .

Для домов 26/1, 28, 28/1, 30/1 действительная тепловая мощность системы отопления в течение почти всего отопительного периода соответствует расчётной (за счёт увеличения расхода воды при верхней срезке). При низких наружных температурах она несколько ниже, поскольку требуемый расход сетевой воды выше расчётного (рис. 4).

Определим температуру внутреннего воздуха помещений при различных температурах наружного воздуха и с учётом переменного водопотребления в СГВ для домов 24 и 26.

Действительную температуру внутреннего воздуха  $t_{в}^A$  при изменяющейся тепловой нагрузке и текущей температуре наружного воздуха  $t_{н}$  за каждый час  $z$ , можно определить по формуле:

$$t_{в}^A = t_{н} + \left[ \frac{Q_{do}^A}{Q_{do}^{\text{TP}}} + \left( \frac{t_{в}^p - t_{н}}{t_{в}^p - t_{н0}} \right) \cdot e^{-\frac{z}{\beta}} \right] \cdot (t_{в}^p - t_{н0}), \quad (1)$$

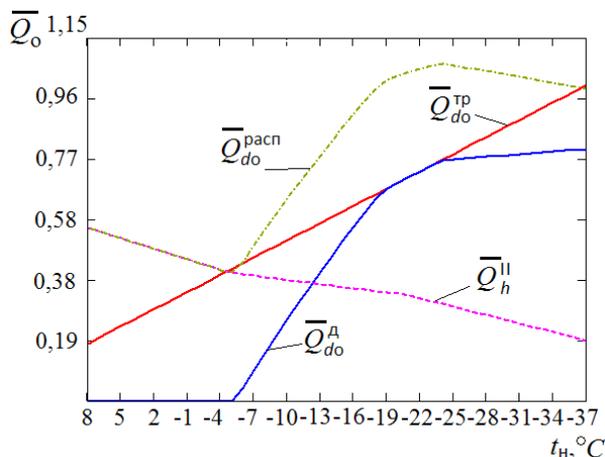


Рис. 5а. Тепловая мощность системы теплоснабжения для домов 24 и 26

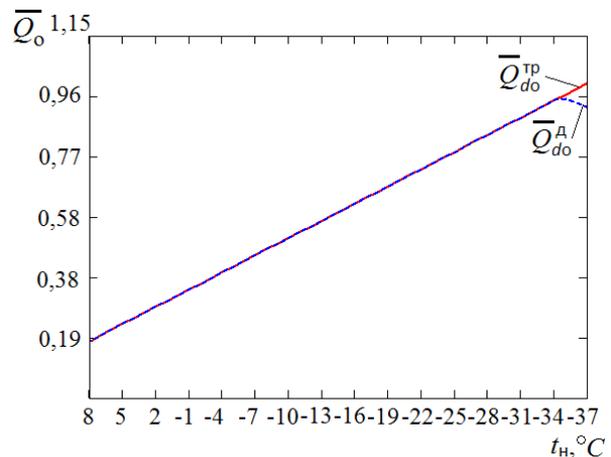


Рис. 5б. Тепловая мощность системы теплоснабжения для домов 26/1, 28, 28/1, 30/1

где  $\beta$  — коэффициент тепловой аккумуляции зданий, ч, определяется по формуле

$$\beta = \frac{C_{ном}}{3,6Q_{уд}} = \frac{k_i \sum \delta_i c_i \rho_i F_i / 2}{\sum k_i F_i + L(c\rho)_{вз}} \quad (2)$$

Коэффициенты тепловой аккумуляции: для здания с кирпичными стенами  $\beta=73,3$  ч; для здания с панельными стенами  $\beta=36,9$  ч.

Неравномерность водопотребления в СГВ учитывалась при задании суточных графиков относительной тепловой нагрузки II ступени подогревателя СГВ, рис. 6.

Действительная тепловая мощность системы отопления определялась по графикам, рис. 5, 6, с учётом дополнительной тепловой мощности, которую можно направить в систему отопления при водопотреблении в СГВ, отличном от максимального:

$$Q_{до} = Q_{до}^{расп} - \overline{Q}_h^{II} \quad (3)$$

Для различных интервалов температур наружного воздуха в г. Новосибирске по данным Всемирной метеорологической организации (рис. 7) (и при переменном во-

допотреблении было определено изменение температуры внутреннего воздуха отапливаемых зданий за периоды времени в 1 неделю (168 ч), рис. 8.

По графикам можно сделать следующие выводы:

1. Температурный график центрального регулирования рассчитан на температуру внутреннего воздуха 18°C, поэтому при несвязанной подаче теплоты температура внутреннего воздуха помещений не превысит 18°C. При низких температурах она может оказаться ниже (кривая 2б).

2. При связанной подаче теплоты располагаемая тепловая мощность системы теплоснабжения выше (за счёт нагрузки СГВ), поэтому температура внутреннего воздуха может достигать оптимальных значений (21–23°C), однако наблюдаются колебания температуры воздуха помещений в зависимости от водоразбора в СГВ.

3. В переходном периоде (вблизи точки излома температурного графика) и при низких наружных температурах, температура внутреннего воздуха при связанной подаче теплоты может опуститься ниже 16°C, что допускается на период до 54 ч в соответствии с СТО НОСТРОЙ «Устройство систем теплоснабжения».

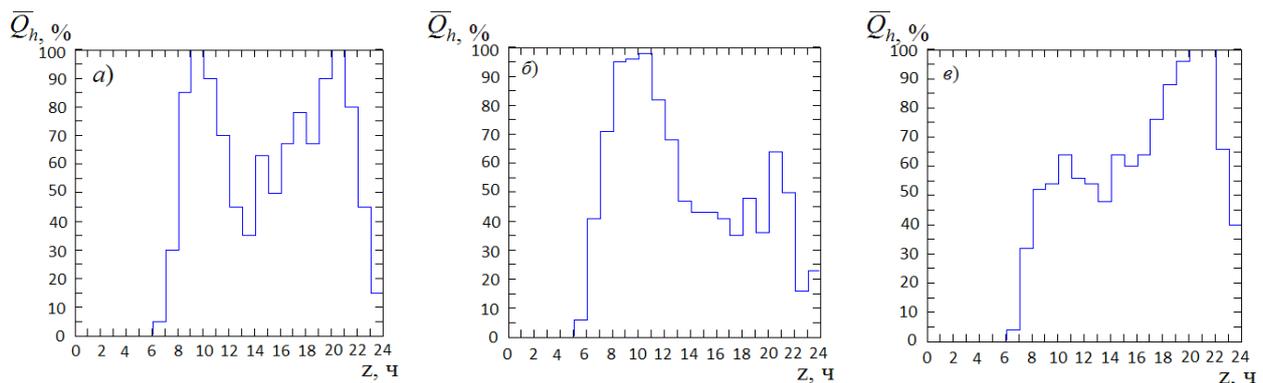


Рис. 6. Суточные графики относительной нагрузки II ступени СГВ в зависимости от водопотребления а), б) в рабочие дни; в) в выходные и праздничные дни

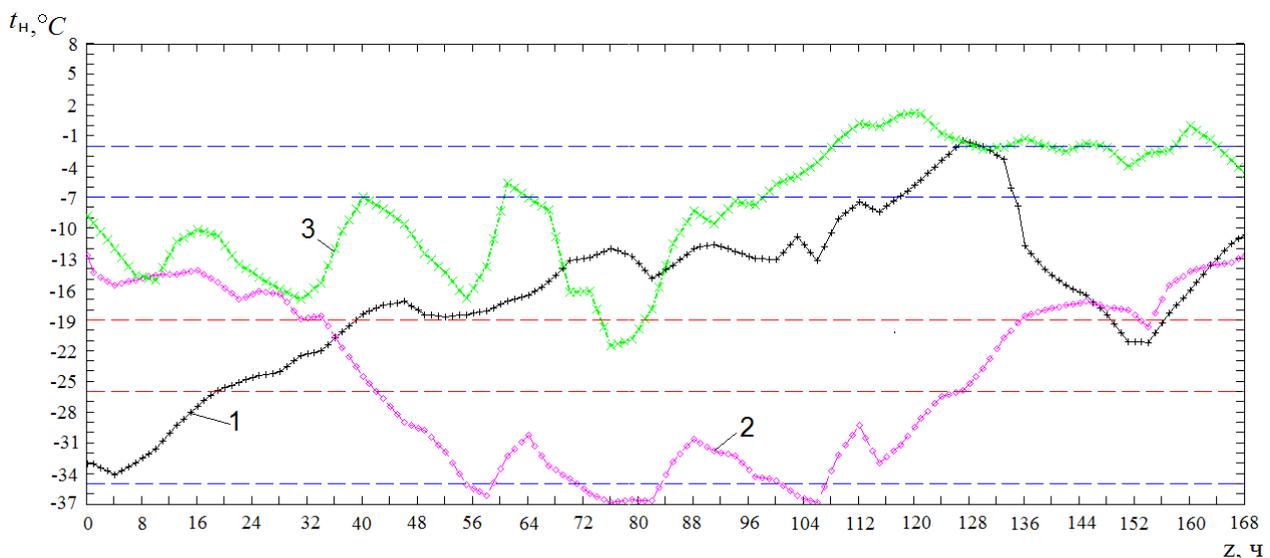


Рис. 7. Температура наружного воздуха за периоды времени: 1–29.11.2014–05.12.2014; 2–22.01.2015–28.01.2015; 3–06.03.2015–12.03.2015

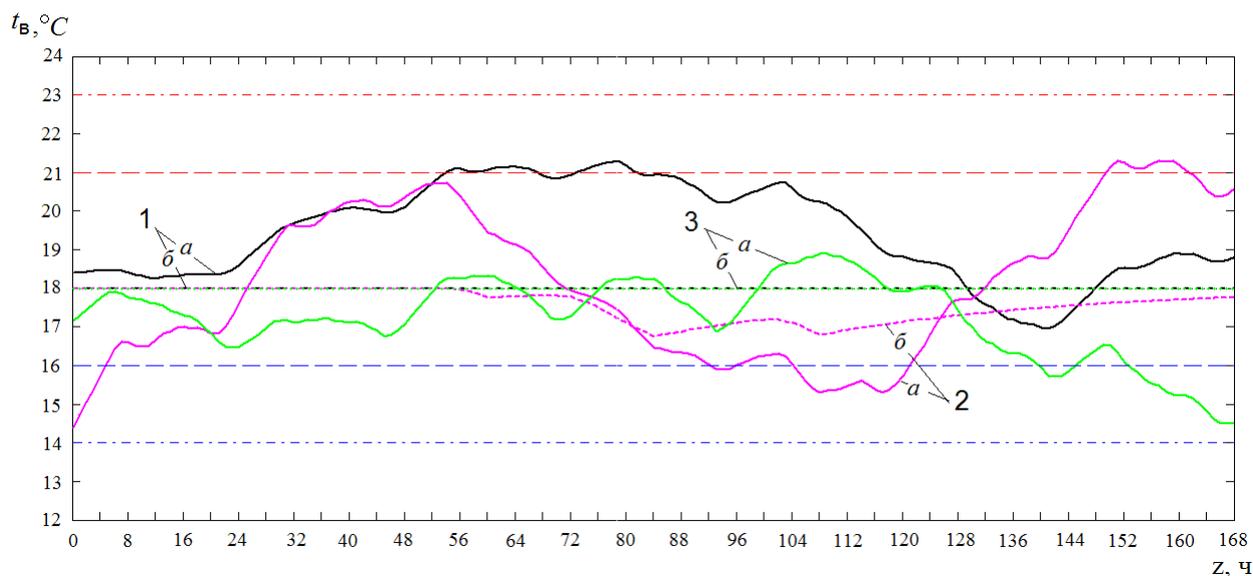


Рис. 8. Температура внутреннего воздуха помещений: а — для домов 24 и 26; б — для домов 26/1, 28, 28/1, 30/1

Литература:

1. Рафальская, Т.А. Особенности совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения в условиях значительного снижения температур наружного воздуха / Т.А. Рафальская // Известия вузов. Строительство, 2010. — № 11–12. — с. 62–72.
2. Рафальская, Т.А. Моделирование и компьютеризация тепловых и гидравлических режимов систем теплоснабжения / Т.А. Рафальская, А. С. Басин // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов седьмой всероссийской научно-технической конференции. — Томск: Изд-во ТПУ, 2001. Т. 1. — с. 133–136.

## Основные аспекты разработки медицинских информационных систем

Ефимова Екатерина Кирилловна, магистр;  
 Аполлонова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент  
 Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

*В данной статье рассмотрены основные требования разработки медицинских информационных систем; произведена классификация медицинской информационных систем в зависимости от типа лечебно-профилактического учреждения; приведена статистика внедрений медицинских информационных систем; приведены основные требования к медицинским информационным системам в зависимости от типов лечебно-профилактического учреждения.*

**Ключевые слова:** медицинская информационная система, лечебно-профилактические учреждения, требования к разработке

В настоящее время все больше растет необходимость информатизации медицинских учреждений. Обработка огромных потоков информации: финансовой, статистической, медицинской — практически невозможна без использования современных информационных и компьютерных технологий. Помимо увеличения потока информации, выросли требования к скорости его обработки. Все большее количество лечебно-профилактических учреждений внедряет информационную систему, которая су-

щественно повышает эффективность работы. В основном это локальные не взаимосвязанные между собой системы автоматизации разных направлений деятельности ЛПУ.

В нашей стране существует широкая сеть лечебно-профилактических учреждений. Но прежде чем перейти к классификации ЛПУ, нужно понять, какое учреждение относится к лечебно-профилактическому. Для этого необходимо привести определение: лечебно-профилактическое учреждение — термин объединяющий совокупность

медицинских учреждений, направленных на оказание лечебно-профилактической помощи населению. К этим учреждениям относятся: медицинские центры, поликлиники, стационары, специализированные ЛПУ, санатории и другие виды (включая вузы).

На рис. 1 представлена классификация ЛПУ в процентном соотношении. В прочее ЛПУ входят: скорая медицинская помощь, дома ребенка, госпитали и отделения для ветеранов войн.

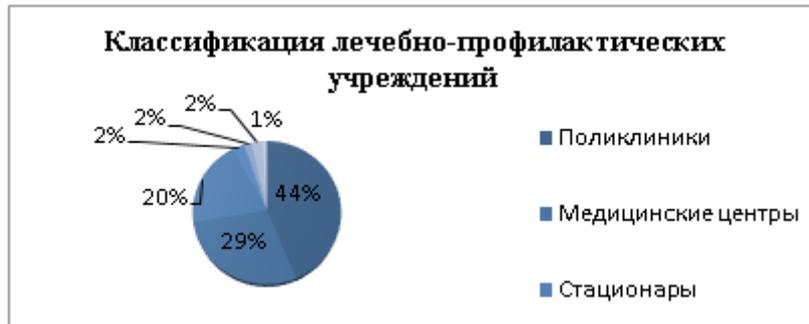


Рис. 1. Классификация лечебно-профилактических учреждений

Таким образом, из рис. 1 видно наиболее распространенный вид лечебно-профилактического учреждения это поликлиники (44%) и медицинские центры (29%).

В зависимости от типа ЛПУ разрабатывается тот или иной вид медицинской информационной системы. Медицинские информационные системы подразделяются на:

— МИС для стационаров

— МИС для поликлиник и амбулаторий  
— МИС для стоматологических клиник  
— МИС для санаториев (лечебно-профилактических учреждений).

На рис. 2 представлено распределение проектов внедрения медицинских информационных систем в зависимости от медицинского учреждения.



Рис. 2. Распределение внедрения МИС по видам ЛПУ

Таким образом, можно сделать вывод, что основными заказчиками МИС являются медицинские центры и поликлиники.

Каждое ЛПУ обладает своими индивидуальными особенностями ведения деятельности. При разработке медицинской информационной системы для достижения наиболее высокого показателя эффективности внедрения важно учесть все аспекты функционирования ЛПУ, определить главную цель создания системы, учесть минимальные требования к системе.

Существуют следующие виды целей:

— повышение эффективности работы медицинского учреждения

— управление финансовыми потоками медицинских учреждений;  
— управления информационными потоками медицинского учреждения;  
— организация работы и управления медицинским учреждением;  
— удобство работы сотрудников;  
— создание информационной базы научно-исследовательской работы.

В зависимости от выбранной цели разрабатывается та МИС, чей функционал наиболее соответствует ожидаемым результатам.

Таблица 1. Зависимость функционала МИС от типа ЛПУ

Название подсистемы МИС МО	Тип МО							
	Стационар	Роддом	Санаторий	Поликлиника	Стомат. пол-ка	Диспансер и спец. центр	КДЦ	ССМП Неотл. пом.
Регистратура поликлиники			✓	✓	✓	✓	✓	
Приемное отделение	✓	✓	✓			✓		
Ведение электронных амбулаторных карт пациентов				✓	✓	✓	✓	
Ведение электронных стационарных карт пациентов	✓	✓	✓			✓		
Клинико-диагностическая лабораторная	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Цифровые изображения (Радиология)	✓	✓				✓	✓	
Инструментальная диагностика	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Учет временной нетрудоспособности	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Аптека МО	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Управление коечным фондом	✓	✓	✓	✓		✓		
Управление взаиморасчетами за оказанную мед. помощь	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Статистика	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Патоморфология	✓	✓						
Оказание скорой и неотложной медицинской помощи				✓				✓
Информационная поддержка пациентов	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Клинико-экспертная работа	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Запись пациентов на прием	✓			✓	✓	✓	✓	
Льготное лекарственное обеспечение				✓				
Диспансерное наблюдение				✓		✓		
Периодические медицинские осмотры				✓				
Вакцинопрофилактика				✓				
Кабинет переливания крови	✓							
Стоматология					✓			

Министерством здравоохранения и социального развития определен минимальный функционал системы для внедрения в различные типы ЛПУ

Таким образом, в зависимости от цели внедрения МИС, от типа медицинской организации разрабатывается определенный функционал системы.

После определения цели создания медицинской информационной системы, определения набора функциональных модулей, можно переходить к следующему этапу разработки: формирование требований к МИС.

Для того чтобы определить структуру МИС необходимо проанализировать существующие стандарты и протоколы, рассмотреть минимальные требования к медицинским информационным системам.

Основными техническими характеристиками МИС являются: время отклика системы, скорость обработки данных, пропускная способность каналов связи, использования ресурсов. Ниже рассмотрены требования к каждой из характеристик.

Разработанная МИС должна соответствовать следующим минимальным требованиям, определенным в требованиях к МИС, передаваемым в фонд алгоритмов и программ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации, применяемым в Государственной информационной системе персонифицированного учета в здравоохранении Российской Федерации. Данные требования представлены в *таблице 2*.

Таблица 2. Требования к показателям назначения

Характеристика	Требуемое значение	Комментарий
Ежедневное число бизнес-транзакций	до 10000	Количество проводимых в системе документов
Поддерживаемая номенклатура услуг	до 5000	Количество записей справочника услуг
Поддерживаемая номенклатура медикаментов и ИМН	до 10000	Количество записей справочника медикаментов и ИМН
Минимальное количество АРМ	50	Должна обеспечиваться работа МИС как минимум при таком количестве конкурентных пользователей
Максимальный объем оперативной БД	до 10 Гбайт	Рабочая OLTP DB без архивов и резервных копий
Минимальное время хранения архивов	3 года	В архивах должна храниться вся оперативная информация о бизнес-транзакциях и остатках за указанный период
Многопользовательский режим доступа	Да	Поддержка возможности одновременной работы пользователей МИС

Также в данном документе определены требования к времени отклика для расчетной нагрузки при 50 конкурентных пользователей (таблица 3)

Время отклика системы определяется исходя из времени обработки команды пользователя рабочей станции, времени задержки при передаче информации от сети, времени обработки запроса и формирования ответа сервером, времени обработки результата клиентским рабочим местом. Данные показатели зависят от технических характеристик каналов связи между сервером и рабочей станции, техни-

ческих характеристик узлов связи и загрузки сети.

Таким образом, время отклика системы можно рассчитать по следующей формуле:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

где  $t_1$  — времени обработки команды пользователя рабочей станции;  $t_2$  — время задержки при передаче информации от сети;  $t_3$  — время обработки запроса и формирования ответа сервером;  $t_4$  — время обработки результата клиентским рабочим местом.

Таблица 3. Требования к времени отклика

Характеристика	Максимальное время
Поиск пациента	5 сек
Открытие медицинской карты пациента	5 сек
Бронирование номерка к врачу	3 сек
Бронирование койки	3 сек

Производительность МИС определяется пропускной способностью каналов связи. Пропускной способностью каналов связи называется максимальная скорость передачи данных по каналу связи в единицу времени.

Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$q = \frac{V}{t}$$

где  $q$  — пропускная способность канала (бит/с);  $V$  — объем переданной информации (бит);  $t$  — время передачи информации.

В соответствии с методическими рекомендациями по

составу и техническим требованиям к сетевому телекоммуникационному оборудованию учреждений системы здравоохранения определены следующие требования к минимальной пропускной способности основного канала связи (таблица 4).

Разработка МИС должна опираться на технологические стандарты, представленные в таблице 5.

**Вывод.** Исходя из целей, функционала, сформированных технических требований и технологических стандартов определяются: технологическая платформа для создания МИС, система управления базами данных, программное обеспечение, а после на основе сделанного выбора определяются системные требования.

Таблица 4. Требования к минимальной пропускной способности основных каналов связи

Медицинская организация	Минимальная пропускная способность	Максимальная допустимая средне- часовая утилизация канала
ЛПУ — крупный стационар	10 Мбит/с	60%
ЛПУ — стационар	2 Мбит/с	50%
Малое ЛПУ, аптека	512 кбит/с	20%
Единое рабочее место, подключаемое через интернет (1 ПК)	128 кбит/с	10%

Таблица 5. Технологические стандарты

Методика или технология	Технологический стандарт
Электронный документооборот	XML, HL7, MoReq-2, SNOMED, LOINC
Унифицированный обмен информацией между ЛПУ	XML, HL7, MoReq-2,
Интегрированный обмен с диагностическим оборудованием	DICOM
Защищенные каналы связи и/или защищенные данные	VPN
Обмен данными через файлы, СУБД	CIFS, HTTP протоколы, используемые Oracle, MS-SQL, Cache

Литература:

1. Методические рекомендации по составу и техническим требованиям к сетевому телекоммуникационному оборудованию учреждений системы здравоохранения для регионального уровня единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения, а также функциональные требования к ним» (утв. Минздравсоцразвития РФ 03.05.2012) // Консультант плюс URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_118957/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_118957/)
2. Методические рекомендации по обеспечению функциональных возможностей медицинских информационных систем медицинских организаций (МИС МО) (утв. Министерством здравоохранения РФ 1 февраля 2016 г.) // ГАРАНТ. РУ URL: [http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71238346/](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71238346/#ixzz4eWFot23Bhttp://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71238346/)
3. Требования к медицинской информационной системе медицинской организации (МИС МО) // Портал оперативного взаимодействия участников ЕГИСЗ URL: <http://portal.egisz.rosminzdrav.ru/materials/351>
4. Официальная статистика // Федеральная служба государственной статистики URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/healthcare/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/healthcare/)

## Повышение технологической эффективности направленного гидроразрыва пласта

Зандер Андрей Андреевич, студент;  
 Резанов Павел Васильевич, студент;  
 Хазбулатова Карина Замировна, студент;  
 Вольф Альберт Альбертович, кандидат физико-математических наук, доцент  
 Тюменский индустриальный университет

Условия осадконакопления и формирования залежей месторождений Западной Сибири свидетельствуют об отсутствии ярко выраженной анизотропии механических свойств пласта, поэтому в условиях равновероятностного развития трещин в любом направлении управление их ориентацией возможно заданием начального выделенного азимутального направления. Это может достигаться ориентированным начальным глубоким ГПП, специальной дополнительной ориентированной перфорацией и др. способами.

Альтернативным подходом к решению данной задачи является изменение поля напряжений вблизи скважины. Так, при наклонной проводке ствола в азимутальном направлении появляется анизотропия напряжений, зависящая от угла входа скважины в пласт.

Обобщенное решение задачи распределения напряжений в пласте, вскрытом наклонной скважиной получено С. Г. Лехницким [2]. В предположении изотропии начального поля напряжений показано, что зависимость относительного давления начала гидроразрыва для верхней и нижней точек образующей пологой скважины от зенитного угла, может быть представлена следующим выражением:

$$q_{ГРП} = \frac{P_{ГРП} - P_{пл}}{P_{эф}} = 0.577 \cdot \sqrt{(0.2 - 2.4 \cdot \bar{\sigma})^2 - (c - a + 4 \cdot \nu \cdot b)^2 - 3d^2} \quad (1)$$

где:

$$a = \frac{1 + 2\nu - (1 - 2\nu)\cos(2\alpha_0)}{4(1 - \nu)} \cos(\alpha_0); \quad b = \frac{1 - 2\nu}{4(1 - \nu)} \sin(\alpha_0)\sin(2\alpha_0);$$

$$c = \frac{1 + (1 - 2\nu)\cos(2\alpha_0)}{2(1 - \nu)} \cos(\alpha_0); \quad d = \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)} \sin(2\alpha_0),$$

$P_{ГРП}$  — давление начала ГРП, МПа;

$P_{пл}$  — пластовое давление скважины, МПа;

$P_{эф}$  — эффективное горное давление, МПа;

$\nu$  — коэффициент Пуассона;

$\bar{\sigma}$  — среднее напряжение на стенке скважины, МПа;

$\alpha_0$  — угол входа скважины в пласт.

Величина относительного давления начала ГРП ( $q_{ГРП}$ ) при малых углах изменяются незначительно (рис. 1). Так при величине коэффициента Пуассона 0.2, характерного для песчаников, при изменении угла наклона скважины от 0 до 20°,  $q_{ГРП}$  уменьшается на 1 %. Отсюда следует, что при обычных для эксплуатационного бурения углах входа скважины в продуктивный пласт 0–20° влияние отклонения от вертикали на направление развития трещин в изотропном пласте незначительно. Однако, с ростом угла ситуация меняется: при больших углах (45° и более), давление начала разрыва в азимутальном направлении оси скважины становится меньше. В этих условиях можно предположить возможность реализации направленного разрыва, управление которым осуществляется заданием соответствующего азимутального угла полого-направленной скважины.

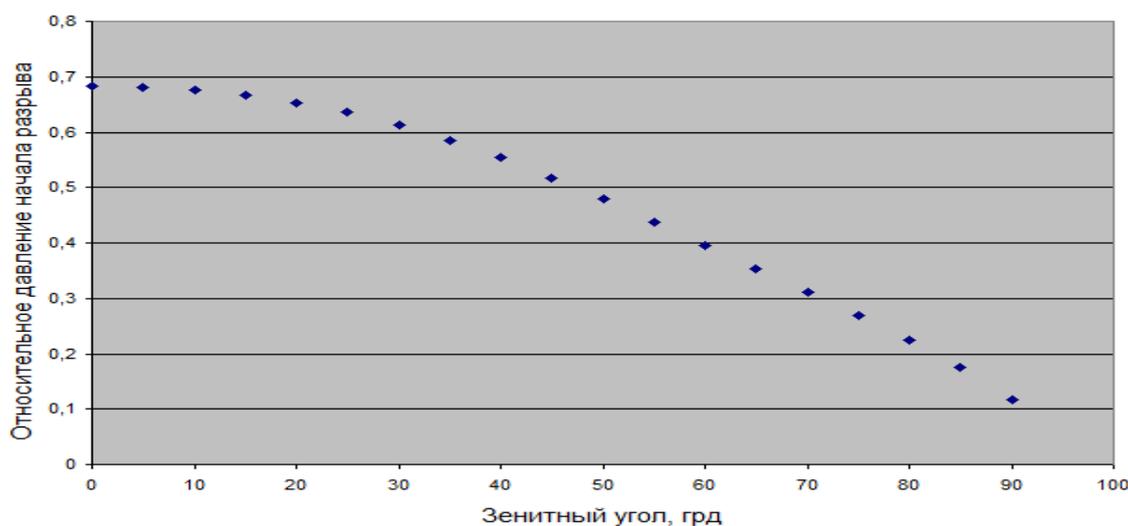


Рис. 1. Зависимость относительного давления начала разрыва в верхней и нижней точках образующей скважины от ее зенитного угла

Прямым подтверждением корректности приведенных выше расчетов является сопоставление устьевых давлений разрыва при ГРП горизонтальных и вертикальных скважин на сходных участках месторождений (Табл. 1). Различие расчетных и фактических давлений начала разрыва объясняется погрешностями в оценке потерь на трение, определяющимися реологическими свойствами жидкости ГРП и качеством вскрытия пласта. На основании полученных данных, варианты разработки с применением ориентированных ГРП в полого-направленных скважинах были включены в проектную документацию ряда месторождений.

Сравнительный анализ результатов ГРП показал, что в большинстве случаев величина давления разрыва полого-направленных скважин больше, чем вертикальных, соответствующих тем же участкам (табл. 2). Одной из основных причин этого является то, что в пропластках малой толщины с наименьшим давлением начала разрыва (наименьшим значением коэффициента Пуассона), вскрытых единичным зарядом перфоратора, ориентация трещины в большей степени определяется ориентацией перфорационного канала, чем ориентацией обсаженного ствола.

Таблица 1. Сопоставление устьевых давлений разрыва вертикальных

Месторождение	Пласт	Р <sub>разр</sub> вертикальных скв.			Р <sub>разр</sub> горизонтальных скв.		
		Кол-во скважин	Факт.	Расч.	Кол-во скважин	Факт.	Расч.
Быстринское	ЮС <sub>2</sub>	5	459	470	1	384	312
Восточно-Еловое	ЮС <sub>1</sub>	4	492	480	1	461	301
Восточно-Сургутское	ЮС <sub>2</sub>	14	520	476	6	477	322
	БС <sub>10</sub>	11	398	412	3	350	259
Западно-Сургутское	ЮС <sub>2</sub>	18	438	470	3	396	325
	БС <sub>10</sub>	22	385	415	5	315	260
Лянторское	БС <sub>16</sub>	2	380	430	1	338	271
	АС <sub>9</sub>	6	355	357	1	326	240
Родниковое	ЮС <sub>2</sub>	10	484	470	3	387	320
Тончинское	ЮС <sub>2</sub>	2	506	470	1	455	320
Федоровское	БС <sub>16</sub>	16	495	450	8	448	271
Яун-Лорское	БС <sub>10</sub>	10	438	415	1	302	259

Экспериментальные исследования показывают [3], что развитие трещин из отдельных перфорационных каналов происходит не зависимо друг от друга при расстояниях между каналами по длине ствола более 1.5–2 его диаметров, в противном случае образующиеся трещины располагаются в плоскости каналов перфорации. Плотность перфорации скважин рассматриваемых месторождений, перед ГРП не превышала 20 отв/м. Следовательно, в условиях низкой плотности перфорации и большой расчлененности пластов этих месторождений, высока вероятность инициации трещины из отдельных перфорационных отверстий с дальнейшей ориентацией в плоскости, не совпадающей с плоскостью скважины. В результате, гидродинамическая связь между полостью скважины и трещины происходит в узком интервале ствола, при этом резко возрастает гидродинамическое сопротивление в ПЗП и увеличивается вероятность пробкообразования с ростом концентрации проппанта в потоке, что подтверждается результатами проведения ГРП в полого-направленных скважинах рассматриваемых месторождений (табл. 3).

Таблица 2. Сопоставление устьевых давлений разрыва вертикальных и полого-направленных скважин

Месторождение	Пласт	Количество скважин		Давления разрыва скважин	
		Полого-направленные	Вертикальные	Полого-направленные	Вертикальные
Северо-Юрьевское	ЮС <sub>1</sub>	14	32	492	461
Западно-Камынное	АС <sub>11</sub>	4	15	484	387
Федоровское	БС <sub>16</sub>	29	8	498	495

Таблица 3. Сопоставление устьевых давлений разрыва вертикальных и полого-направленных скважин

Месторождение	Пласт	Нескв	Интервал перфорации	Интервал охлаждения	Интервал притока в трещину
С. Юрьевское	ЮС <sub>1</sub>	2075	2875-2879; 2887-2895	2868-2880	2877-2879
С. Юрьевское	ЮС <sub>1</sub>	2064	2882-2885; 2890-2901	2887-2902	2897-2900
С. Юрьевское	ЮС <sub>1</sub>	2051	3111-3118	3109-3120	3112-3116
З. Камынное	АС <sub>11</sub>	810Пн	2662-2663; 2666-2667; 2671-2687	2658-2672	2665-2667
З. Камынное	АС <sub>11</sub>	771Пн	2637-2641; 2645-2647; 2649-2651	2642-2653	2649-2651

В частности, это подтверждается термометрией проведенной в скважине № 810Пн Западно-Камынского месторождения после ГРП, являющейся характерной для большинства пологих скважин.

Из термограммы следует, что интервал охлаждения, соответствующий образованной в породе трещине, находится в интервале 2656—2572 м, тогда как приток из пласта проходит в узком диапазоне 2665—2667 м. Оценки показывают, что в этом случае угол отклонения плоскости трещины от оси скважины составляет 12,6°.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Снижение давления разрыва в однородных и изотропных по простиранию пластах, с ростом зенитного угла скважины, позволяет управлять ориентацией трещины ГРП путем специальной проводки полого — направленных скважин.
2. Одним из определяющих факторов, влияющих на ориентацию трещины, является качество перфорации скважины. Для выдержанных пластов, с низкой расчлененностью перфорация должна проводиться зарядами, фазировкой не менее 90°, и плотностью не менее 20отв./м.
3. В условиях сильной расчлененности пластов, ориентированный ГРП может быть реализован только после проведения вертикально ориентированной щелевой резки или ГПП.

Литература:

1. Батурин, Ю. Е., Малышев А. Г., Сонич В. П., Малышев Г. А. «Способ разработки нефтегазовой залежи с применением гидравлического разрыва пласта» // Патент РФ, № 2135750, 1998
2. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела. /М. «Наука», 1977.
3. Rabaa, W.E. «Experimental study of hydraulic fracture geometry initiated from horizontal wells» //SPE 1989, pp. 349—364.

## Технологические особенности интенсификации нефтедобычи из низкопроницаемых коллекторов

Зандер Андрей Андреевич, студент;  
Торяник Виталий Юрьевич, студент;  
Шевхужев Арсен Русланович, студент  
Тюменский индустриальный университет

Как показано в многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых, при гидроразрыве низкопроницаемых пластов ачимовской толщи дебиты по жидкости возрастают при увеличении массы проппанта и его максимальной концентрации. В связи с низкими коллекторскими свойствами пластов ачимовской толщи для интенсификации добычи ввод скважин из бурения обычно рекомендуется совместно с проведением ГРП. На наиболее перспективных объектах рекомендуется проведение ГРП по технологии FiberFrac (Schlumberger). FiberFRAC — технология армирования жидкости ГРП растворимым волокном с целью понижения загрузки полимера и улучшения транспортных свойств жидкости. Волокна FiberFrac удерживают зерна проппанта от осаждения в период закрытия трещины, а впоследствии полностью растворяются (для качественного растворения необходима температура выше 85°C). В процессе деградации волокон создается химическая среда, способствующая лучшей деструкции геля. А также в условиях пониженного пластового давления опробовать азотно-пенное воздействие (Newco Well Service, Schlumberger и др.). Данная технология позволяет контролировать рост высоты трещины за счет низкой вязкости вспененной жидкости разрыва, обеспечивает: немедленную отработку сква-

жины за счет энергии растворенного азота, что улучшает очистку трещины от закачанного полимера, в том числе на скважинах с низким пластовым давлением; сохранение реологических свойств при снижении полимерной загрузки; низкое или полное отсутствие полимеров в жидкой фазе; до 70 % меньшее количество жидкости (актуально для пластов, чувствительных к воде); высокие показатели эффективности жидкости разрыва.

При обработке нижележащих объектов для снижения обводненности продукции и перераспределения профиля притока рекомендуются технологии на основе модификаторов фазовых проницаемостей (МФП): AquaCon ТМ ВJ Services, Cw-Frac SM Halliburton, разработки ЗАО «Химко-ГАНГ», WCA-1 (NEW-CO Well Service). Как правило, МФП представляет собой гидрофильный полимер со средней молекулярной массой на основе полиакриламида. Данные составы закачиваются в виде оторочки (перед подушкой жидкости разрыва) или могут добавляться к жидкостям гидроразрыва на водной или углеводородной основе, обеспечивая снижение фазовой проницаемости по воде. Принцип их действия основан на изменении смачивающих свойств породы за счет осаждения (адсорбции) полимера на стенках поровых каналов.

Технологии ЗАО «Химеко-ГАНГ», по утверждению разработчиков, можно успешно применять и на обводнившихся скважинах. Пласты ЮС<sub>1</sub> также характеризуются низкими коллекторскими свойствами, поэтому при проведении ГРП необходимо создание длинных трещин с закачкой более 5 т проппанта на метр эффективной мощности; оптимальный объем проппанта должен определяться на основе моделирования по критерию экономической целесообразности с учетом потенциальной эффективности обработки, обеспечивая при необходимости селективную обработку нефтенасыщенной части в случае малых глинистых перемычек, отделяющих водонасыщенные пропластки. В чисто-нефтяной зоне залежи возможно применение высоких масс проппанта при проведении ГРП без риска увеличения обводненности. При выполнении обработок рекомендуется использование комбинаций пропантов нескольких фракций (в начале обработки подается мелкая фракция, применение которой призвано закрепить кончик трещины; среднезернистым пропантом заполняется основной объем созданной трещины; крупнофракционный расклинивающий агент закачивается на конечной стадии подачи проппанта, его размер и количество должны определяться на этапе моделирования трещины гидроразрыва, исходя из ширины трещины в прискважинной зоне.

Кроме того, для низкопроницаемых коллекторов можно рекомендовать проведение обработок совместно с гидромеханической щелевой перфорацией (ГМЩП), позволяющей снизить трение в перфорационных каналах, улучшить гидродинамическую связь «скважина-пласт». ГМЩП позволяет улучшить связь ствола скважины с пластом и облегчить прохождение проппанта через отверстия в колонне по сравнению со стандартной кумулятивной перфорацией. ГМЩП особенно рекомендуется при проведении ГРП в условиях применения высоких максимальных концентраций проппанта, высокой степени заглинизованности пластов ачимовской толщи.

Для прогноза дебита жидкости после ГРП в основном используются эмпирические зависимости от эффективной мощности пласта, обводненность задается по результатам геолого-промыслового анализа участка, планируемого для проведения обработки. По некоторым скважинам иногда возникает необходимость скважинам проводить корректировку показателей на основе фактического опыта применения ГРП на соседних скважинах.

Основными проблемами, которые приводят к снижению эффективности ГРП, являются опережающее об-

воднение скважин и относительно быстрое снижение эффекта со временем (от<sup>3</sup>-до 6 мес.)

Для восстановления высоких темпов отбора рекомендуется проведение повторных ГРП. Однако, зачастую повторные ГРП увеличивают обводненность продукции и снижают прирост дебита нефти.

На основании опыта ОАО «Сургутнефтегаз», восстановление проницаемости трещин с помощью кислотных обработок является перспективным дополнением к ГРП.

Для восстановления эффективности ГРП рекомендуется вместо повторных ГРП применять следующие методы интенсификации притока нефти:

1. Химические методы очистки трещин в комплексе с методами механической очистки ПЗП (отбор жидкости струйным насосом, свабированием, понижением уровня азотно-компрессорным методом);
2. Для химических обработок необходимо использовать кислотные растворы, подобранные по объему и хим. составу, соответствующими геолого-техническим условиям;
3. Глубоко-проникающие перфорационные системы в жидкостях, сохраняющих коллекторские свойства продуктивных пластов;
4. Изоляция водонасыщенных интервалов пласта и заколонного пространства скважины.

Суммируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Выбор и планирование скважин под ГРП должны осуществляться с учетом влияния системы нагнетательных скважин, а также энергетики пласта (текущих пластовых давлений).
2. Успех большинства проведенных ГРП в основном зависят от способности оценивать характеристики и несущие механизмы, те что контролируют проведение гидравлического разрыва пласта. Под механизмами при разработке понимается возможность внести необходимые изменения чтобы обеспечить оптимальное размещение проппанта и следовательно максимизировать экономические результаты.
3. Для восстановления эффективности ГРП рекомендуется использовать методы очистки трещин с целью улучшения их проницаемости. К таким методам можно отнести кислотную или глинокислотную обработки. В результате кислотного воздействия в добывающих скважинах продуктивность может достигнуть близких к максимальным значениям, полученных после ГРП.

#### Литература:

1. Понкрац, Р., Кувшинов И. К., Латкин К. Э. Эволюция технологии гидравлического разрыва пластов в России, Halliburton, «Роснефть», SPE 114876, Москва, 2008.
2. Телков, А. П. Схема проектирования процесса воздействия, геолого-физические критерии и условия выбора скважин и объектов для ГРП / А. П. Телков, М. И. Забоева, Карнаухов А. Н. // Новые технологии для ТЭК Западной Сибири: Сб. тр. науч. практ. конф. посвящ. 5-летию ИНИГ. — Тюмень, 2005. — Том 1. — с. 255—231.

## Устройство для улучшения тягово-сцепных свойств колесных тракторов

Ибрагимов Эркин Исмаилович, старший преподаватель;

Мирхасилова Зулфия Кочкаровна, преподаватель

Ташкентский институт ирригации и мелиорации (Узбекистан)

*В статье рассмотрены вопросы уменьшения скольжения колес тракторов без увеличения сцепного веса, уменьшения уплотнения почвы. Разработанная конструкция уширителя колес, на которой получен патент Республики Узбекистан, способствует повышению тягово-сцепных качеств трактора без дополнительного увеличения сцепного веса и уменьшает буксование движителей трактора, что приводит к повышению производительности агрегата. Уменьшение сцепного веса способствует уменьшению степени уплотнения почвы, сохранения структуры и условия для поддержания нормального водно-воздушного режима почвы, что приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур.*

*In clause (article) questions of reduction of sliding of wheels of tractors without increase in coupling weight, reduction of condensation of ground are considered. The developed design of an expander of wheels on which the patent of Republic Uzbekistan is received, promotes increase of traction and coupling qualities of a tractor without additional increase in coupling weight and reduces slipping движителей a tractor that results in increase of productivity of the unit. Reduction of coupling weight promotes reduction of a degree of condensation of ground, preservation of structure and a condition for maintenance of a normal water and air mode of ground that results in increase of productivity of agricultural crops.*

Современные сельскохозяйственные и мелиоративные колесные тракторы оснащены мощными дизельными двигателями, т. е. они являются достаточно энергонасыщенными. Несмотря на это, при выполнении полевых работ, особенно в тяжелых почвенных и болотистых условиях, происходит скольжения ведущих колес трактора. Это обстоятельство приводит к утрате максимального использования тяговой мощности трактора во время работы.

Известно, что тяговые качества колесного трактора (тяговое усилие, буксование) определяются величиной силы сцепления движителя с почвой, которая, как известно, находится в прямой зависимости от сцепного веса трактора. Поэтому для увеличения сцепного веса, в большинстве случаев, движители (ведущие колеса) тракторов догружают дополнительными балластами, что, в свою очередь, приводит к нежелательному уплотнению почвы. Другой способ увеличения сцепления колес, т. е. снижение давление воздуха в шинах, также нежелательно, т. к. снижение давления на 20% сокращает срок службы шин на 15% [1].

Нами разработано конструкция устройства устраняющие скольжения и буксование ведущих колес трактора. Это устройство, называемое уширителем колеса, способствует повышению тягово-сцепных качеств колесного трактора, особенно при работе на рыхлых и влажных почвах (рис). Нами на конструкцию уширителя колеса получен патент Республики Узбекистан [2].

Уширитель колеса выполнен в виде параллельно расположенных с промежутком дисков, закрепленных на диск колеса трактора, снабжен установленными между дисками штифтами с набалдашниками и с возможностью вращения на цапфах почвозацепами с выполненными на плече опорной поверхностью и окошечками, с которыми почвозацепы в рабочем положении опираются на

указанные штифты и зафиксированы на набалдашниках, установленными на цапфах почвозацепов звездочками, охватывающимися цепями, при этом внешний радиус уширителя колеса, переведенного в транспортное положение на 35 мм меньше, чем статический радиус колеса, последний есть расстояние от оси неподвижного колеса до опорной поверхности, т. е. равен радиусу колеса с вычетом деформации шины, шарнирно установленным на поверхности наружного диска гидроцилиндром, закрепленной на цапфе почвозацепа рукояткой, соединенной со штоком гидроцилиндра, соосно расположенными с движителем внутренним и наружными переходниками, в которой наружный переходник выполнен в виде надетых друг на друга с промежуточной полостью труб с прикрепленным к внешней трубы при помощи резьбового соединителя корпуса из левой и правой половин, на поверхности которых герметично установлен маслоперепускатель, состоящий из левого и правого цилиндров, закрытых крышками и зафиксированных на соединительной втулке. Внутренний переходник в виде маслоперепускателя, состоящего из цилиндра, закрытого по бокам крышками, расположен на конце внутренней трубы. В полостях маслоперепускателей размещены упругие пластинки, соприкасающимися с возможностью скольжения с торцевыми поверхностями внутренней трубки, левой и правой половин корпуса, вкладышами с маслоотражательными резьбами и самоподжимными сальниками, причем вращающиеся маслоперепускатели, каждые в отдельности, трубкой и шлангом соединены с над — и подпоршневым (штоковым) полостями гидроцилиндра.

Выполнение уширителя в виде параллельно расположенных с промежутком дисков, закрепленных на диск движителя трактора, позволяет устанавливать между дис-

ками штифты с набалдашниками и с возможностью вращения на цапфах почвозацепы, которые с опорными поверхностями и окошечками на плече в рабочем положении опираются на эти штифты и набалдашники и, в таком радиальном рабочем положении надежно фиксируются.

Установленные на цапфах почвозацепов звездочки, охватываемые цепями, при вращении ведущего почвозацепа поворачивают все почвозацепы в один и тот же угол. Вторая цепь, натянутая через звездочки, закрепленные на цапфах диаметрально расположенных почвозацепов, имея больший угол охвата, способствует надежному вращению почвозацепов.

Выполнение внешнего радиуса уширителя колеса в состоянии транспортного положения меньше, чем статический радиус колеса, дает возможность уширителю в транспортном положении нормально, без повреждения дорожной полотны, двигаться по дороге.

Снабжение уширителя шарнирно установленным на поверхности наружного диска гидроцилиндром, шток которого соединен с рукояткой, закрепленной на цапфе почвозацепа, даёт возможность управлять работой уширителя колеса из кабины трактора.

Расположение переходников соосно с движителем трактора и снабжение их с вращающимися маслоперепускателями, соединенными с над- и подпоршневыми полостями гидроцилиндра делают возможным подачи масла под давлением от распределителя гидросистемы трактора к вращающимся гидроцилиндр на ходу трактора.

На рисунке представлена схема уширителя колеса: а) — вид сбоку; б) — вид сверху. Уширитель колеса состоит из внутреннего 1 и наружного 2 дисков (рис. а и б), между которыми неподвижно размещены штифты 3 с набалдашниками 4, а также с возможностью вращения во втулках дисков и опирающимися на них цапфами 5 почвозацепов 6 с плечом 7, в котором выполнены опорная поверхность и окошки «о». Внутренний диск крепится на диск 8 колеса трактора при помощи болтового соединения 9. На цапфах 5 почвозацепов посажены на шпонке звездочки 10, охватываемые цепью 11. Звездочки 12 установлены на цапфах диаметрально расположенных почвозацепов, которые охватываются цепью 13.

На наружной поверхности внешнего диска шарнирно установлен гидроцилиндр 14. Цепные передачи почвозацепов закрыты кожухом 15.

Соосно с колесом расположены внутренний 16 и наружный 17 переходники (рис. б). Наружный переходник при помощи трубки 18 и шланга 19 соединен с надпоршневой полостью, а внутренний переходник трубкой 20 и шлангом 21 с подпоршневой (штоковой) полостями гидроцилиндра 14.

Наружный переходник 17 включает установочную втулку 22 посаженную на внутреннюю трубку 23. На наружной трубке 24 при помощи пластинки и резьбового соединителя зафиксирован корпус. Корпус в виде цилиндров выполнен составным, включает левую и правую половин. Между резьбового соединителя и установочной втулки 22

при помощи втулки образован канал «к», а положение наружной трубки 24 относительно внутренней 22 фиксируется маслопропускным кольцом.

Уширитель работает следующим образом. В положении рукоятки распределителя гидросистемы трактора «подъём» масло по внутренней трубки 23, соединенной с нагнетательным каналом распределителя, поступает в полость В внутреннего маслоперепускателя, откуда через трубки 19 и шланг 20 направляется в подпоршневую (штоковую) полость гидроцилиндра 14. Поршень и связанный с ним шток гидроцилиндра под давлением масла, перемещаясь во внутрь гидроцилиндра, поворачивают рукоятку 5б, закрепленную на цапфе ведущего почвозацепа, против часовой стрелки в положении I. При этом почвозацепы, находящиеся в кинематической связи с звездочкой ведущего почвозацепа, также поворачиваются на один и тот же угол и занимают радиальное (рабочее) положение (рис. а и б). Плечи 7 почвозацепов также, поворачиваясь против часовой стрелки, опираются на штифты своими опорными поверхностями, а набалдашники штифтов, располагаясь при этом в окошках плеч почвозацепов надежно фиксируют их в радиальном (рабочем) положении.

При переводе уширителя из рабочего положения в транспортное, в соответствующем положении рукоятки распределителя гидравлической системы «принудительное опускание», масло из канала К через отверстия «в» и «d» поступает в полость А, откуда через отверстия «с» проходит в трубку 18 и по шлангу 19 поступает в надпоршневую полость гидроцилиндра 14. Шток, выходя из цилиндра, поворачивает рукоятку по часовой стрелки в положении II. Почвозацепы 6 также, вращаясь по часовой стрелки, занимают транспортное положение, показанное на рис. 1 пунктирной линией. Масло из надпоршневой полости гидроцилиндра 14 по шлангу 21 и трубке 20 поступает в полость В внутреннего маслоперепускателя, а оттуда по внутренней трубке 23 возвращается в распределитель и далее в бак гидросистемы трактора.

Применение уширителя резко повышает тягово-сцепное качество трактора без дополнительного увеличения сцепного веса и уменьшает буксование движителей трактора, что приводит к повышению производительности машин. За счет уменьшения степени уплотнения почвы представляются возможным сохранения структуры и обеспечения условия для поддержания нормального водно-воздушного режима почвы.

### Выводы

1. Разработанная конструкция уширителя колеса способствует повышению тягово-сцепных качеств трактора без дополнительного увеличения сцепного веса и уменьшает буксование движителей трактора, что приводит к повышению производительности агрегата.

2. Уменьшение сцепного веса способствует уменьшению степени уплотнения почвы, сохранения структуры и условия для поддержания нормального водно-воздушного режима почвы, что приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

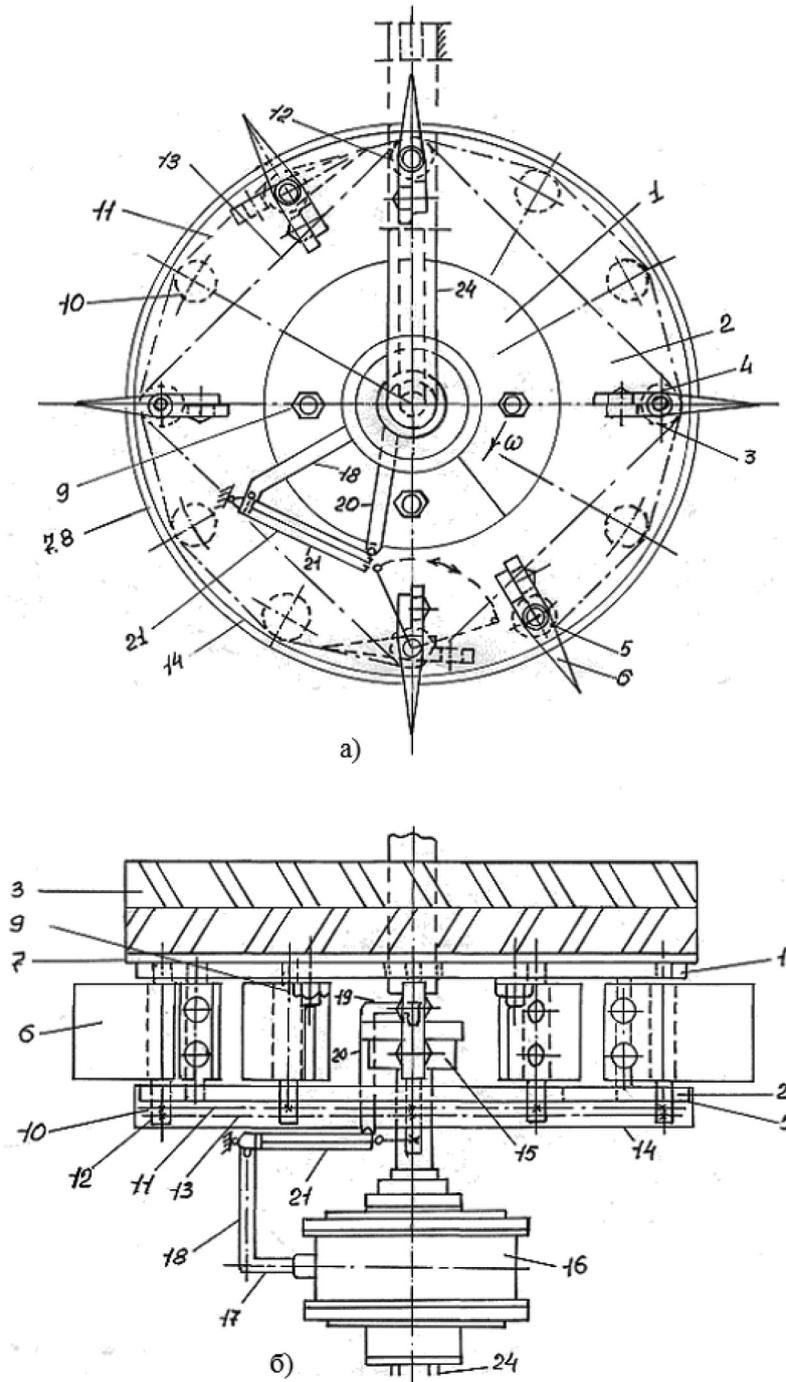


Рис. Уширитель колеса трактора: а-вид сбоку; б-вид сверху (обозначение в тексте)

Литература:

1. Гуревич, А. М. и др. Конструкция тракторов и автомобилей. М.: Агропромиздат, 1989, 368 с. 4.
2. Ixtiro patent. UZ IAP 04804, ХРК8, 8 В 60В15/00. Уширитель колеса транспортного средства / Ибрагимов Э. И. и др. Заявлено 28.07.2010. Приоритет 28.07.2010. Опубликовано 31.01.2014. Бюл., № 1.

## Формообразование твердосплавного инструмента на шлифовально-заточном центре

Колесников Богдан Русланович, магистрант;  
 Московский государственный технологический университет «Станкин»

*В статье рассмотрена методика построения профиля винтовой канавки фрезы. Выбор инструмента второго порядка для изготовления стружечных канавок. Определение необходимых параметров его установки путем решения обратной задачи профилирования. Создание макета фрезы.*

Фреза является одним из самых распространенных инструментов в металлообрабатывающей промышленности. Огромное преимущество концевой фасонной фрезы состоит в том, что она позволяет производить фасонную обработку, а также обработку пазов, уступов и других различных сложных элементов металлических конструкций.

Конструкция концевой фрезы предполагает наличие винтовых стружечных канавок, имеющих фасонный профиль.

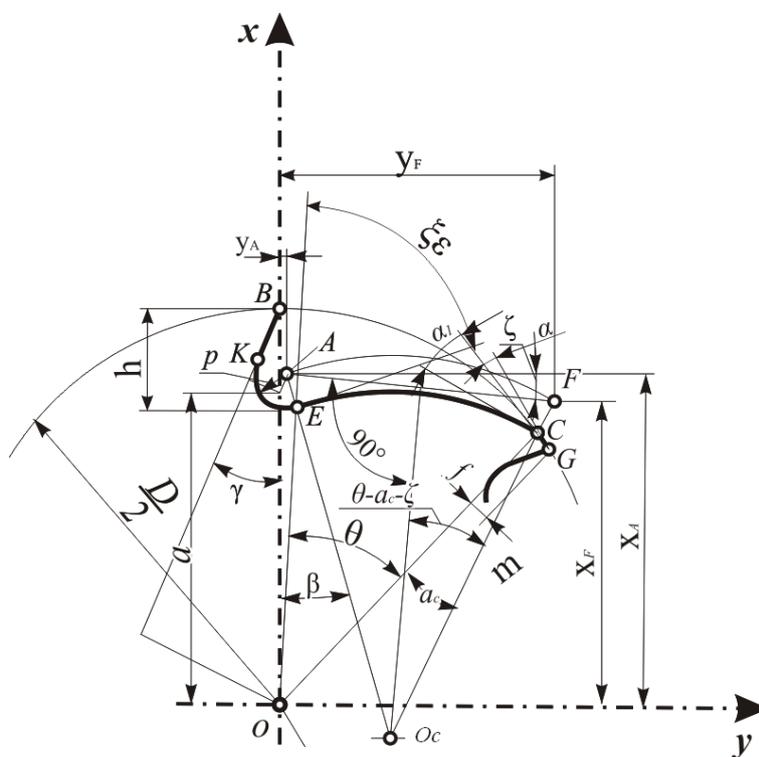


Рис. 1. Форма профиля стружечной канавки концевой фрезы и его основные параметры

Их изготовление до сих пор остается наиболее сложным вопросом, так как при обработке таких поверхностей профиль инструмента не соответствует профилю изделия.

В статье использована методика построения профиля стружечной канавки концевой фрезы [1–7]. Профиль стружечной канавки у концевых фрез состоит из четырех участков (рис. 1): прямолинейного ВК, являющегося профилем передней поверхности зуба фрезы, спинки СЕ зуба (которая может быть прямой, ломаной или кривой линией), дуги ЕК, сопрягающей спинку и переднюю поверхность, а также участка СG, который является ленточкой.

Методика расчета:

$\theta$  — центральный угол между точками В и С

$$\theta = \frac{2\pi}{z} - \frac{2f}{D};$$

$x_A$  и  $y_A$  — координаты центра А дуги радиуса  $r$

$$x_A = \frac{D}{2} - h + \rho; \quad y_A = (\rho - h) \operatorname{tg} \gamma + \frac{\rho}{\cos \gamma};$$

$X_F, Y_F$  — координаты точки F пересечения прямой, проведенной из центра Ос в точку С, и дуги окружности радиуса  $(\rho_c + \rho)$  проведенной из того же центра

$$X_F = \frac{D}{2} \cos \theta + \rho \cos(\theta - \alpha_c); \quad Y_F = \frac{D}{2} \sin \theta + \rho \sin(\theta - \alpha_c);$$

$\zeta$  — угол наклона хорды AF к оси y

$$\operatorname{tg} \zeta = \frac{x_A - x_F}{y_F - y_A};$$

$\beta$  — угол между осью x и линией АОС

$$\beta = \theta - \alpha_c - 2\zeta;$$

$x_E, y_E$  — координаты точки E,  $x_K, y_K$  — координаты точки K

$$x_E = x_A - \rho \cos \beta; \quad y_E = y_A - \rho \sin \beta; \quad x_K = x_A + \rho \sin \gamma; \quad y_K = y_A - \rho \cos \gamma.$$

Для создания винтовых канавок применялся не фасонный инструмент, а алмазный шлифовальный круг прямого профиля диаметром 100 мм.

При использовании такого инструмента регулировка размеров получаемой канавки происходит за счет изменения лишь параметров установки, таких как угол скрещивания, межосевое расстояние и положение точки скрещивания [7–12]. На рисунке 2 схематично показаны параметры установки инструмента. Плюсами использования такого инструмента является возможность получения винтовых канавок в широком диапазоне размеров и форм, используя один и тот же круг. Также такой круг проще править и контролировать его размеры.

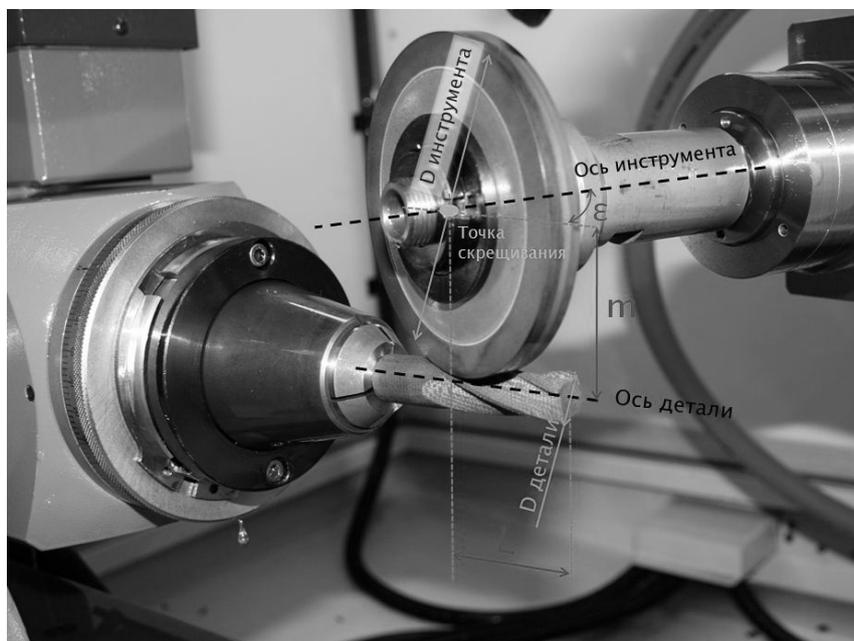


Рис. 2. Схема установки инструмента на станке

Так как профиль шлифовального круга известен, то для определения необходимых параметров установки следует решать обратную задачу профилирования [7–15,17]. Существует численный метод [7], позволяющий находить профиль винтовой канавки при обработке его инструментом прямого профиля. Для простоты использования данный метод был реализован в среде T-Flex Cad [2]. С помощью построенной модели концевой фрезы (рис. 3) был произведен анализ влияния параметров установки на получаемый профиль и выбран наиболее оптимальный профиль [7,15–17] с учетом межосевого расстояния, угла скрещивания, положения точки скрещивания. Были определены необходимые параметры установки, использованные для установки алмазного шлифовального круга на 4-х координатном шлифовальном станке.

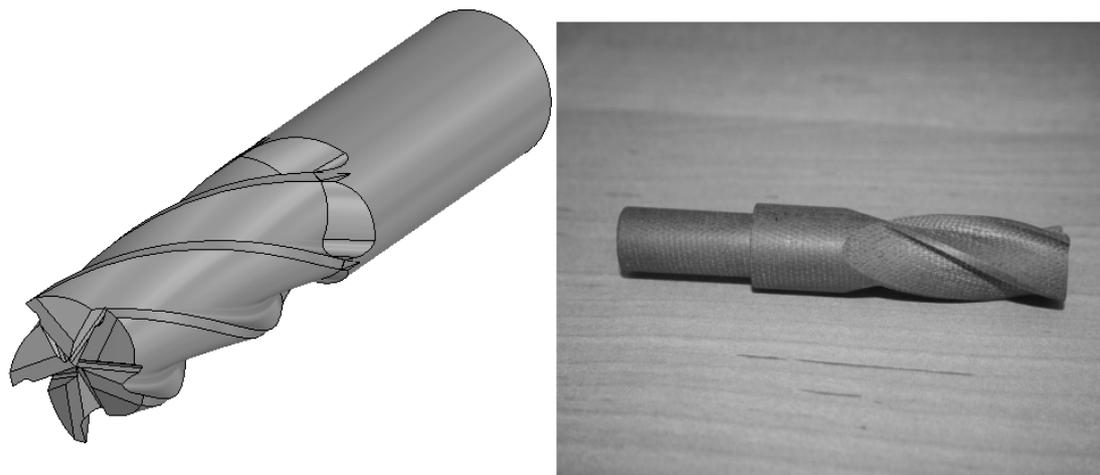


Рис. 3. Модель и макет вышлифованной концевой фрезы

В результате обработки был получен вышлифованный макет концевой фрезы из текстолита (рис. 3), идентичный ранее спроектированному. Что подтверждает адекватность использованной компьютерной модели и правильность наших расчетов.

На сегодняшний день при использовании оборудования с ЧПУ процесс проектирования и изготовления фрез существенно упростился. Например, программный пакет LTF CAM для 5-координатного шлифовального центра LaProga U320 позволяет сразу выбрать вид изготавливаемой концевой фрезы, направление винтовых канавок и другие конструктивные параметры.

#### Литература:

1. Петухов, Ю.Е. Формообразование численными методами. М: Янус-К, 2004, 198 с.
2. Петухов, Ю.Е., Домнин П.В. Компьютерное моделирование обработки винтовой канавки на заготовке концевой фрезы /Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2011. № 2. с 156–164.
3. Гречишников, В.А., Петухов Ю.Е., Пивкин П.М., Исаев А.В., Бушуев С.В., Романов В.Б. Прогнозирование и измерение параметров микрорельефа поверхности при точении деталей сложного профиля /Измерительная техника. 2015. № 8. с. 12–15.
4. Grechishnikov, V.A., Petukhov Y.E., Pivkin P.M., Isaev A.V., Bushuev S.V., Romanov V.B. Prediction and measurement of the parameters of the microtopography of a surface when turning intricately shaped parts / Measurement Techniques. 2015. T. 58. № 8. с. 848–853.
5. Petukhov Yu. E., Kolesov N. V., Yurasov S. Yu. Geometric shaping in cutting /Russian Engineering Research. 2014. T. 34. № 6. с. 374–380.
6. Kolesov, N. V., Petukhov Yu. E. The mathematical model of a hob with protuberances /Russian Engineering Research. 1995. T. 15. № 4. с. 71–75.
7. Петухов, Ю.Е., Домнин П.В. Способ формообразования фасонных винтовых поверхностей /патент на изобретение RUS 2447972 от 24.06.2010
8. Петухов, Ю.Е., Домнин П.В., Тимофеева А.А. Формирование базы знаний процесса проектирования инструмента для обработки канавок в глубоких отверстиях /Научная жизнь. 2014. № 5. с. 21–29.
9. Гречишников, В.А., Домнин П.В., Исаев А.В., Петухов Ю.Е., Романов В.Б. Формообразование и контроль режущих инструментов / Москва, МГТУ СТАНКИН, 2015. 151 с.
10. Гречишников, В.А., Петухов Ю.Е., Косарев В.А. и др. Инструментальная техника, технология изготовления и САПР РИ / Москва, МГТУ СТАНКИН, 2015. 351 с.
11. Петухов, Ю.Е., Водовозов А.А. Математическая модель криволинейной режущей кромки спирального сверла с постоянной стойкостью точек режущей кромки /СТИН. 2014. № 3. с. 8–11.
12. Петухов, Ю.Е., Водовозов А.А. Анализ влияния скорости резания точек режущей кромки на стойкость спирального сверла и пути ее увеличения /Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2013. Т. 2. № 1 (15). с. 31–35.

13. Петухов, Ю. Е., Домнин П. В., Тимофеева А. А. Разработка конструкции инструмента для прорезания канавок в отверстиях на основе анализа функциональных связей между параметрами конструкции и эксплуатационными показателями процесса обработки / Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 2 (33). с. 12–16.
14. Петухов, Ю. Е., Атрощенко Т. С. Разработка численного метода профилирования / В сборнике: Автоматизация: проблемы, идеи, решения Материалы международной научно-технической конференции: в 2 томах. 2010. с. 185–188.
15. Петухов, Ю. Е., Домнин П. В., Рубец А. А. Неразрушающий метод оценки режущей способности кругов с однослойным алмазно-гальваническим покрытием / СТИИ. 2015. № 9. с. 11–13.
16. Petukhov, Y. E., Vodovozov A. A. Sharpening helical bits with curvilinear cutting edges at the rear surface / Russian Engineering Research. 2015. T. 35. № 9. с. 670–673.
17. Петухов, Ю. Е. Проектирование производящей инструментальной и исходной поверхностей на основе методов машинного моделирования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный технологический университет «Станкин». Москва, 1984, 242 с.

## Исследование влияния природной пластовой воды на коррозию стальных труб, применяемых при строительстве и эксплуатации нефтедобывающих скважин (на примере Юрубчено-Тохомского месторождения)

Лазуткин Евгений Александрович, студент  
Научный руководитель: Квеско Наталья Геннадьевна, доктор наук  
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

**Ключевые слова:** *солеобразование, отложение солей, коррозия, факторы коррозии, влияние природной пластовой воды*

Проблема коррозии металлических труб остро стоит в области бурения и эксплуатации нефтедобывающих скважин. Технический прогресс тормозится из-за ряда нерешенных проблем с коррозией. В результате коррозии ежегодно теряются десятки миллионов тонн металлов, приходит в негодность огромное количество аппаратуры, оборудования, приборов, инструментов.

Широко применяемые в настоящее время методы разработки нефтяных месторождений с поддержанием пластового давления могут приводить к осложнениям в добыче нефти, которые связаны с отложением твердых осадков неорганических солей, накапливающихся на стенках труб.

Важнейшей задачей в нефтяной промышленности является повышение эффективности добычи нефти. Одно из существенных направлений в решении этой проблемы — решение задач борьбы с отложениями неорганических солей при эксплуатации скважин. Образование отложений солей приводит к снижению продуктивности скважин, преждевременному выходу из строя глубинного насосного оборудования, внеплановым текущим и дорогостоящим капитальным ремонтам скважин и, как следствие, значительному ухудшению технико-экономических показателей нефтегазодобывающих предприятий.

Самыми распространенными факторами, влияющими на техническое состояние и срок службы стальных труб, являются коррозионно-агрессивное влияние скважинной

среды и циклические нагрузки, которые испытывают трубы в процессе эксплуатации.

Химический состав пластовых вод нефтяных и газовых месторождений разнороден и классифицируется по характерным признакам. Состав и свойства пластовых вод в процессе разработки месторождений изменяются и зависят от снижения давления и температуры, а также от контакта с другими пластовыми водами, что приводит к дегазации и нарушению ионного обмена.

Природная пластовая вода содержит в себе множество различных солей и их соединений. Эти соли могут оседать на стенках труб, иными словами — солеобразование представляет собой отложения, закупоривающие перфорационные каналы, обсадные и эксплуатационные колонны НКТ, клапаны, засоряя, таким образом скважину и препятствуя потоку жидкости. [1]

К основным причинам отложения солей можно отнести следующие факторы:

- снижение давления;
- повышение температуры;
- перенасыщение раствора;
- изменение химического состава воды, при смешивании вод различных типов.

Виды отложений:

- Плотные (до 5 мм)
- Плотные, с выпадением кристаллов среднего размера (15–18 мм)

— Плотные крупнокристаллические (до 25 мм)

Максютин А. В [2] называет следующие причины отложения солей:

Скорость и объем выпадения солей зависит от ряда факторов:

— первоначальной солевой насыщенности пластовой воды;

— типа ионов в пластовой воде;

— режимов эксплуатации добывающих скважин и способов добычи скважинных флюидов;

— совместимости пластовых вод различных продуктивных пластов;



Рис. 1. Солеобразование в эксплуатационной колонне

Солевой осадок в эксплуатационных колоннах НКТ может встречаться в виде толстого слоя, плотно прилегающего к их внутренней поверхности. Зачастую он имеет толщину в несколько сантиметров и имеет кристаллы диаметром до 1 см и более. Первичный эффект роста солевых отложений заключается в том, что скорость добычи снижается за счет увеличения неровности поверхности труб, при этом в них снижается диаметр протока. Солеотложение крайне негативно влияет на безопасность эксплуатации стальных труб.

Так же эти соли могут привести к различного вида коррозии.

Коррозию различают по прямым и косвенным показателям.

*Прямые показатели:*

— убыль или увеличение массы, отнесенные к единице поверхности;

— глубина коррозии;

— доля поверхности, занятая продуктами коррозии;

— количество коррозионных язв или точек, на единице поверхности;

— объем выделившегося с единицы поверхности водорода или поглощенного кислорода;

— время до появления первого очага коррозии;

— время до появления коррозионной трещины или до полного разрушения образца;

— величина тока коррозии.

*Косвенные показатели.* После определенного времени коррозионных испытаний степень коррозионного разрушения можно определить по изменению:

— физико-механических свойств;

— электросопротивления. [3]

По скорости протеканию коррозию можно разделить на 3 типа:

1) Мало подвержены разрушению (до 0.1 мм / год)

2) Среднекоррозионные (до 0.5 мм / год)

3) Агрессивные (более 0.5 мм / год)

Факторы влияющие на скорость коррозии можно разделить на две группы:

— внешние;

— внутренние.

*Внутренние факторы.* К внутренним факторам, влияющим на скорость коррозии, относятся химический состав, структура, внутренние напряжения и состояние поверхности металла. Чистые металлы при прочих равных условиях менее подвержены коррозии, чем сплавы.

Менее других подвержены коррозии сплавы, имеющие структуру твердого раствора.

Внутренние напряжения материала способствуют коррозии его наклепаный материал разъедается больше, чем материал с нормальной структурой. Наличие внутренних напряжений и наклеп способствуют образованию гальванопар.

Чем ровнее поверхность металла, тем меньше он корродирует. При повреждении поверхности металл начинает корродировать быстрее. Причиной этого является то обстоятельство, что гладкая поверхность лучше покрывается защитной пленкой.

*Внешние факторы.* К внешним факторам, влияющим на скорость коррозии, относятся действие на металла окружающей среды: воды, кислот, щелочей, солей и газов, а также температура окружающей среды. [4]

*Целью настоящей работы* является исследование влияния природной пластовой воды на коррозию стальных труб, применяемых при строительстве и эксплуатации нефтедобывающих скважин (на примере Юрубчено-Тохомского месторождения).

В работе решаются следующие задачи:

1. Анализ влияния природной пластовой воды на протекание коррозии. Факторы, влияющие на коррозию стали.
2. Исследование влияния природной пластовой воды, на коррозию стальных труб.

3. Результаты испытания сталей.

Юрубчено-Тохомское крупное нефтегазоконденсатное месторождение в России. Расположено в Красноярском крае, в 280 км к юго-западу от п. Тура. Открыто в 1982 году. Освоение началось в 2009 году.

По системе геологического нефтегазового районирования Юрубчено-Тохомское месторождение расположено в пределах Байкитской нефтегазоносной области в составе Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. В тектоническом отношении месторождение приурочено к центральной части Камовского свода Байкитской антеклизы. Нефтегазоносность связана с карбонатными и терригенными (песчаники) отложениями вендского и рифейского возрастов. Извлекаемые запасы Юрубчено-Тохомского месторождения составляют по категории С1—64,5 млн тонн нефти, С2—172,9 млн тонн, газа (С1+С2) — 387,3 млрд кубометров. Плотность нефти составляет 0,850 г/см<sup>3</sup> или 34° API. Содержание серы составляет 0,2%. Содержание парафина составляет 1%. [5]

С данного месторождения была взята природная пластовая вода (СКВ № 76 Юрубченская пл., 2500–2504м) и проанализирована в лаборатории. В результате был составлен отчет, в котором был указан подробный состав солей и другая информация.

Таблица 1. Отчет о составе пластовой воды

Компонент	Метод анализа	Чувствительность метода, мг/дм <sup>3</sup>	НД на МВИ	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
рН, ед. рН	П	1,0	ПНДФ 14.1.2.3.4.121–97	5,41
Плотность, г/см <sup>3</sup>	Ар		Резников А. А, Методы анализа природных вод, 1963,489с [6]	1,162
Взвешенные вещ-ва	Гр	5,0	РД 52.24.468–2005	90,9
Общая жесткость	Т	0,05	ПНД Ф 14.1:2.98–97	1793,75
Гидрокарбонат-ион	Т	6,0	ПНД Ф 14.1:2.98–99	183,0
Карбонат-ион	Т	6,0	ГОСТ 23268.2–78	Не. обн
Углекислота свободная	Т	6,0	ГОСТ 23268.2–91	352
Сульфат-ион	ФК	2,0	РД. 52.24.405–2005	<2,0
Хлорид-ион	Т	0,5	ПНД Ф 14.1:2. 96–97	143780
Фторид-ион	П	0,19	ФР. 1.31.2005.01522	1,56
Иодид-ион	ИВ	0,0007	ФР. 1.31.2004.01165	4,6
Бромид-ион	МС — ИСП	0,025	НСАМ № 480	2120,65
Кальций	Т	1,0	ПНД Ф 14.1:2.95–97	24750
Магний	Т	1,0	ГОСТ 23268.5–78	6900
Натрий	П	2,3	РД 52.24.365–95	50500
Калий	ПФ	1,0	ПНД Ф 14.1:2.138–98	3300
Кремний	ФК	1,0	РД 52.24.433–95	2,07
Общая жесткость	Т	0,05	ПНД Ф 14.1:2.98–97	1793,75
Железо общее	ФК	0,1	ПНД Ф 14.1:2.50–96	295,12
Нитрит-ион	ФК	0,003	ПНД Ф 14.1:2.3–95	0,02
Нитрат-ион	ФК	0,5	ПНД Ф 14.1:2.4–95	1628
Аммоний-ион	ФК	0,1	ПНД Ф 14.1:2.1–95	82,8

Минерализация по плотности				235000
Минерализация по сумме солей	Расч.			213336
Нефтепродукты	ФЛ	0,005	ПНД Ф 14.1:2.128–98	1,26
Фенол	ФЛ	0,0005	ПНД Ф 14.1:2.182–02	0,0014
Ag	МС ИСП	0,0001	НСАМ № 480	0,0033
Al	МС ИСП	0,002	НСАМ № 480	0,26
As	МС ИСП	0,002	НСАМ № 480	0,48
	МС ИСП	0,002	НСАМ № 480	50,07
Ba	МС ИСП	0,002	НСАМ № 480	967,50
Be	МС ИСП	0,0001	НСАМ № 480	<0,0001
Bi	МС ИСП	0,00005	НСАМ № 480	0,0034

Как видно из отчета есть элементы которые наиболее сильно вызывают коррозию и которые на нее практически не влияют (их концентрация слишком мала для влияния на коррозию, их можно не учитывать при создании модели пластовой воды). На основе этих данных в лабора-

тории была создана модель пластовой воды, воздействие которой на материал, соответствующий материалу НКТ, проверяется по следующим параметрам:

1. Изменение массы образцов.
2. Глубина коррозионных поражений.

Литература:

1. Крабтри Майк., Эслингер Давид, Эшли Джонсон. Борьба с солеотложениями — удаления и предотвращение их образования.
2. Максютин, А. В, Шангараева А. В, Султанова Д. А. Способы предотвращения солеотложения при разработке и эксплуатации залежей нефти [Текст]. Журнал «Современные проблемы науки и образования» № 1—1/2015 г.
3. Шлугер, М. А., Ажогин. Ф. Ф., Ефимов Е. А. Коррозия и защита металлов М: «Металлургия», 1981. 216 с.
4. Юрубчено — Тохомское месторождение [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
5. Г.Н. Мальцева, учебное пособие «Коррозия и защита оборудования от коррозии». Пенза, 2001 г.
6. Резников, А.А. Методы анализа природных вод. — Л: госгеотехиздат, 1963. — 489 с.

## Накопители электроэнергии как средство предотвращения нарушений электроснабжения

Латипов Саидмурод Туйгунович, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В статье рассматривается возможность использования различных видов энергетических накопителей как один из способов, позволяющих предотвратить кратковременные нарушения электроснабжения (КНЭ). Стоимость накопителей быстро уменьшается, и интеграция данных технологий в энергосистему становится все более реальной, это становится все более актуальным с появлением активно-адаптивных сетей.*

**Ключевые слова:** электроэнергия, электроснабжение, питание, суперконденсаторы, конденсаторы, накопители энергии

В течение последнего времени отмечается устойчивая тенденция расширения сферы практического применения различных видов накопителей электроэнергии [1]. Раньше накопители применяли для незначительного аккумулярования электроэнергии и источников бесперебойного питания нагрузок небольшой мощности в настоящее время накопители электрической энергии являются важнейшим

элементом будущих активно-адаптивных сетей [2]. Основной аспект, способствующий более пристальному изучению применения накопителей электроэнергии в энергосистеме, — тенденция увеличения распределенной генерации на основе альтернативных источников электроэнергии (преимущественно за счёт использования энергии солнца и энергии ветра), не обходится и без экономической

составляющей, а именно увеличивается стоимость электроэнергии в пиковые часы [1]. Возрастают требования к надежности электроснабжения. Основное свойство накопителей — способность аккумулировать электроэнергию с ее последующей выдачей в нужное время — имеет особое значение для создания принципиально новых методик оптимального управления энергосистемами.

К основным сферам применения накопителей относят:

- Выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды наличия избыточной (дешевой) энергии и выдачу в сеть в периоды дефицита);

- Обеспечение в сочетании с устройствами FACTS повышения пределов устойчивости;

- Обеспечение бесперебойного питания особо важных объектов, собственных нужд электростанций и подстанций;

- Демпфирование колебаний мощности, стабилизация работы малоинерционных децентрализованных источников электрической энергии.

- Повышение надежности и качественных показателей электроснабжения, обеспечение интеграции возобновляемых источников электроэнергии в систему [2].

Для каждого из указанных применений имеет значение энергоёмкость накопителя (количество электроэнергии, которое устройство способно накапливать и сохранять на протяжении определенного периода), выдаваемая в единицу времени мощность на протяжении периода разряда, длительность разряда (способность выдавать требуемую мощность в течение конечного временного интервала) и КПД.

В нашей работе основное внимание уделено применению накопителей для покрытия КНЭ, а именно для предотвращения провалов напряжения (ПН). Классические устройства автоматического включения резерва (АВР) и автоматического повторного включения (АПВ), предназначенные для восстановления питания потребителей, имеют время срабатывания порядка нескольких секунд. В результате при ПН нарушается работа чувствительных потребителей. Вследствие нарушения работы отдельных чувствительных элементов происходят сбои в работе технологических агрегатов с высокой степенью автоматизации. Нарушение условий технологического процесса приводит к браку и недоотпуску продукции. Для ряда производств ущерб от провалов напряжения с учетом переза-

пуска технологических процессов сопоставим с ущербом от длительных перерывов питания, в то время как частота возникновения провалов напряжения выше на несколько порядков.

Один из видов накопителей конденсаторы были вытеснены аккумуляторами, это было связано с тем, что аккумуляторы могли значительно больше накапливать электроэнергию. Другой причиной является то, что при разряде напряжение на выходе аккумулятора меняется очень слабо, так что стабилизатор напряжения или не требуется, или же может иметь очень простую конструкцию.

Главное различие между конденсаторами и аккумуляторами заключается в том, что конденсаторы непосредственно хранят электрический заряд, а аккумуляторы превращают электрическую энергию в химическую, запасают ее, а потом обратно преобразуют химическую энергию в электрическую. При преобразованиях энергии часть ее теряется. Поэтому даже у лучших аккумуляторов КПД составляет не более 90%, в то время, как у конденсаторов он может достигать 99%.

Проведенный анализ накопителей, представленных в таблице 1 показывает, что наиболее актуальным для предотвращения провалов напряжения становится использование суперконденсаторов — электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита.

Использование суперконденсаторных систем накопления энергии для обеспечения комфортного электропитания потребителей путем компенсации провалов напряжения позволяет экономить значительные материальные ресурсы. Так, например, если среднее промышленное предприятие имеет около 20 провалов напряжения глубиной в 10% от номинала и длительностью 0,1 сек. Последствия одного такого провала оцениваются в среднем в 10 млн. руб. Таким образом, годовая экономия от использования систем электропитания на базе суперконденсаторов составляет более 200 миллиона рублей только для одного предприятия.

Полученные результаты позволяют сделать следующий вывод, применение накопителей электроэнергии, а именно суперконденсаторов может быть наиболее перспективным методом для развития технологий накопления электроэнергии для решения проблемы с ПН.

#### Литература:

1. Аблязов, П. Н. Энергия впрок / П. Н. Аблязов // Энергоэксперт. — 2011. — № 1. — С. 31–32.
2. Воропай, Н. И. Интеллектуальные электроэнергетические системы: концепция, состояние, перспективы / Н. И. Воропай // Автоматизация и ИТ в энергетике. — 2011. — № — с. 11–16.
3. Electricity Energy Storage Technology Options. A White Paper Primer on Applications, Costs and Benefits // EPRI, Palo Alto, CA: December 2010. 1020676. — P. 170.
4. E y e r, J. Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide.

## Интенсивное энергосбережение — стратегия для производственного комплекса

Латипов Саидмурод Туйгунович, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*Данная работа посвящена проблемам модернизации действующих и создания новых производственных теплотехнологических систем. Представлены методология и алгоритм решения поставленной задачи в рамках «Концепции интенсивного энергосбережения». Показаны принципиально возможные энергосберегающие эффекты на теплотехнологических объектах.*

**Ключевые слова:** энергосбережение, теплотехнология, энергозатрата, КПИ и КПД энергии, теплотехнологическая система

Одним из научных направлений в области энергосбережения является:

Концепция интенсивного энергосбережения — это научно-обоснованный взгляд на проблему энергосбережения в теплотехнологиях, устанавливающий способы:

1. Объективного отражения масштаба и качества использования топливно-энергетических ресурсов в объекте энергетического анализа;
2. Выявления предельно полного состава энергосберегающих мероприятий;
3. Установления уровней предельно полного и практически возможного энергосберегающих эффектов;
4. Прогнозирования опорных признаков перспективных моделей энергоматериалосберегающих и экологически безопасных объектов будущего;
5. Стимулирования поиска энергосберегающей техники нового поколения;
6. Формирования программы конкретных мероприятий глубокой энергетической, технической и экологической модернизации действующих теплотехнологических объектов (установок систем, комплексов) [1].

Концепция интенсивного энергосбережения может претендовать сегодня на место современной методологической базы разработки энергетических сценариев развития действующих и создания новых производственных систем, основанных на теплотехнологиях [2].

Интенсивное энергосбережение — главное звено в цепи ряда взаимосвязанных актуальных проблем теплотехнологии. Методология решения фундаментальных задач энергетики теплотехнологии основана на базе и алгоритме поиска энергосберегающих решений.

База поиска в себя включает:

— Объект: замкнутые теплотехнологические комплексы.

— Ориентир: «не достигнутое», а «принципиально возможное», формируемое в рамках термодинамически идеальной модели теплотехнологического объекта с энергетически идеальной технологией с экстремальным источником энергии и экстремальной тепловой схемой.

— Средства: предельно полный состав мероприятий интенсивного энергосбережения.

— Критерии: система показателей эффективности теплотехнологического объекта [1].

Алгоритм поиска включает в себя следующие ступени:

- 1) формирование технологической и структурной схемы действующего теплотехнологического объекта (ДТТО);
- 2) формирование системных границ ДТТО (границы замкнутого теплотехнологического комплекса ТТК);
- 3) построение температурного графика и расчет теплового (энергетического) графика теплотехнологии ДТТО;
- 4) иллюстрация тепловой схемы ДТТО;
- 5) формирование карты энергоматериалопотребления и определение энергоемкости технологии производства продукта в ДТТО;
- 6) расчет традиционных коэффициента полезного действия (КПД) ДТТО и коэффициента полезного использования (КПИ) энергии в ДТТО;
- 7) разработка на заданный продукт концептуальной модели ТТО — предвестницы термодинамически идеальной модели и качественного образа ТТО нового образца (в перспективе нового поколения), формируемого на базе совокупности мероприятий интенсивного энергосбережения, прогрессивных идей, современных достижений науки, техники и опыта в данной области;
- 8) разработка схемы энергетически идеальной теплотехнологии (ЭИТТ) производства заданного продукта ТТО;
- 9) построение температурного и теплового (энергетического) графиков ЭИТТ;
- 10) определение теплового и общего коэффициента энергетической эффективности собственно технологии ДТТО;
- 11) расчет теоретических КПД и КПИ энергии для ДТТО;
- 12) разработка экстремальной тепловой схемы с экстремальным источником энергии для термодинамически-идеальной модели (ТДИМ) ТТО с энергетически идеальной теплотехнологией;
- 13) формирование карты энерго-материалопотребления и определение энергоемкости технологии «производства» продукта в ТДИМ ТТО;
- 14) расчет потенциала резерва интенсивного энергосбережения в ДТТО;
- 15) формирование технически реализуемой теплотехнологии ТТО;

16) построение температурного и теплового (энергетического) графиков теплотехнологии технически реализуемого ТТО;

17) разработка тепловой схемы и температурного графика технически реализуемой модели ТТО;

18) разработка теплотехнической схемы и принципиально конструктивных схем элементов технически реализуемой модели ТТО;

19) формирование принципиально конструктивной схемы технически реализуемого ТТО;

20) конструктивный расчет теплотехнологических агрегатов и компоновка технически реализуемого ТТО;

21) формирование карты энергоматериалопотребления и расчет энергоемкости технологии производства продукта в технически реализуемом ТТО;

22) расчет итоговых показателей технически реализуемого ТТО;

23) тепловой и общий коэффициенты энергетической эффективности теплотехнологии;

24) традиционные и теоретические КПД и КПИ энергии;

25) потенциал резерва интенсивного энергосбережения;

26) коэффициент использования резерва интенсивного энергосбережения.

Таким образом, на основании достигнутых результатов видно, что интенсивное энергосбережение — является локомотивом (тягачом) общего (технологического, энергетического, экологического, технического) прогресса теплотехнологических систем и комплексов, в первую очередь, энергоемких отраслей промышленности.

#### Литература:

1. Ключников, А.Д. Основы теории интенсивного энергосбережения. Конспект лекций — Учебное пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2016. — 148 с.
2. Картавцев, С.В. Разработка на базе концепции интенсивного энергосбережения перспективной модели энергоматериало-сберегающего теплотехнологического комплекса черной металлургии: автореф. Дис/ -ра техн. наук — М.: МЭИ (ТУ), 2007. 40 с.

## Автоматизации проектирования систем электроснабжения

Латипов Саидмурод Туйгунович, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В статье рассматривается разрабатываемый программный комплекс, который призван выполнять задачу автоматизации проектирования электроснабжения отдаленных малонаселенных пунктов в каждом конкретном случае с учетом максимальной экономической эффективности в зависимости от значений входных параметров, учитывается множество факторов.*

**Ключевые слова:** энергосистема, энергоснабжение, автоматизация энергоснабжения

Эффективное управление энергосистемой страны представляет собой сложную технико-экономическую систему. Задача надежного и качественного электроснабжения является остроактуальной для отдаленных малонаселенных пунктов, где отсутствует централизованное электроснабжение. В разработке схем электроснабжения отдаленных малонаселенных пунктов в настоящее время используются типовые решения, не учитывающие большое значение значимых факторов. Как следствие проекты имеют малую экономическую эффективность. Существует дефицит необходимых технологий и недостаток квалифицированного персонала для масштабной реализации модернизации энергосистемы [2].

Разрабатываемый программный комплекс призван выполнять задачу автоматизации проектирования электроснабжения отдаленных малонаселенных пунктов в каждом конкретном случае с учетом максимальной экономической

эффективности в зависимости от значений входных параметров, учитывается множество факторов:

- Удаленность от единой энергосистемы (км)
- Категории надежности электроснабжения (I, II, III)
- Суммарная мощность потребителей (кВт)
- Количество солнечных дней в году
- Средняя скорость ветра (м/с)
- Размеры площадок для строительства (кв. км)
- Водные ресурсы глубина (м), скорость течения (м/с)
- Сезонность потребления электроэнергии (кВтч/мес)
- Дата начала строительства (месяц, год)
- Дата ввода в эксплуатацию (месяц, год)

Разработана математическая модель выбора основных параметров электрической схемы [1]. Принято, что каждый параметр может быть обусловлен двумя критериями: затраты на внедрение или стоимость эксплуатации, С; эффект, получаемый от внедрения, который выража-

ется в стоимостной оценке величины снижения потерь мощности при решении задачи оптимизации,  $E$ . Множество всех выборов, состоящее из двух непересекающихся множеств  $D1$  и  $D2$ .

Множество  $D1$  особенностью, которого является то, что любая технологическая установка может быть выбрана только один раз. Рассматриваемое множество  $D1$  проходит первичную обработку, после которой оно будет содержать выбранные с помощью программы мероприятия, входящие в математическую модель задачи оптимизации потерь электроэнергии — множество  $D \gg 1$  (обозначена ) Множество  $D2$  включает в себя мероприятия по эксплуатации электрической схемы.

Каждый параметр, рассматриваемый в задаче оптимизации энергосбережения, имеет свою затратную стоимость и свой эффект от внедрения. При переходе к множествам

$D \gg 1$  и  $D2$  определяется, что  $D1$  содержит  $n$  мероприятий, а  $D2$  —  $m$  параметров. Тогда  $n$ -мерные вектора  $C1(i)$  и  $E1(i)$  содержат, соответственно, стоимости  $D1$ , а векторы  $C2(i)$  и  $E2(i)$  — стоимости эксплуатации  $D2$ .

Вводятся два вектора  $X1(i)$  и  $X2(i)$ , элементы которых  $x_i = 1$ , если параметр с номером будет выбрано для внедрения, в противном случае (мероприятие не выбрано)  $x_i = 0$ .

С учетом всех введенных обозначений формулируется задача организации системы электроснабжения. Задаются значение финансирования  $K$ , выделяемого на внедрение разрабатываемой схемы электроснабжения. Составляется целевая функция, значение которой должно быть максимальным в результате решения задачи оптимизации энергосбережения и ограничения в виде неравенства, с учетом объема выделяемых средств.

$$\begin{cases} D = D_1 \cap D_2, \\ D_1 \otimes D_2, \\ F(x) = \sum_{i=1}^n A_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m A_2(i) \cdot x_2(i) \longrightarrow \max \\ \sum_{i=1}^n C_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m C_2(i) \cdot x_2(i) \leq K \end{cases}$$

Математическая модель выбора решает задачу линейного программирования — нахождение параметров, внедрение которых дает наибольший эффект [2].

Разрабатываемый программный комплекс обладает следующими конкурентными преимуществами:

Автоматический выбор оптимального источника энергии, учитывающий географическое положение местности, климатические условия, особенностей промышленного производства, сезонности потребления электроэнергии;

Выявление оптимального решения выбора необходимых мероприятий по модернизации схемы электроснабжения при анализе наибольшей суммы факторов;

Увеличение эффективности использования денежных средств, выделяемых на цели энергосбережения за счет

выбора группы мероприятий, обеспечивающих наибольший экономический эффект;

Формирование комплекса критериев выбора мероприятий по энергосбережению, позволяющий получить более полную оценку эффективности предлагаемых мероприятий по сравнению со стандартными решениями;

Уменьшение временных затрат на выполнение проектов, путем автоматизации, при неизменном качестве и контроле специалистов. Уменьшение финансовых затрат на разработку проекта системы электроснабжения объектов высокой сложности, в том числе отдаленных населенных пунктов.

Разрабатываемый программный комплекс выполняет задачу автоматизации проектирования электроснабжения в каждом конкретном случае в зависимости от значений входных параметров.

Литература:

1. Кудрин, Б. И.. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования /— М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 2е изд., перераб. и доп. — 352 с.
2. Марченко, А. Л. Основы электротехники. Учебное пособие для вузов. ДМК Пресс, 2008. 296 с., ил. Табл. 25., ил 252. Библиогр. 26 назв.

## Сравнение алгоритмов фильтрации сырых данных для маркерной киберфизической системы захвата движений

Морозов Артём Андреевич, магистрант;

Гайниязов Игорь Мадыхатович, аспирант, ассистент

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

Согласно статистике базы данных Web Of Science за последние 10 лет сфера киберфизических систем приобретает все большую популярность (Рис. 1).



Рис. 1. Отчет по цитированию базы данных Web Of Science по запросу «cyber-physical system» за период 2006–2017 гг.

Большинство источников определяют киберфизическую систему как систему, обладающими неразрывной связью между входящими в них вычислительными и физическими элементами [1].

Однако в данной статье будем рассматривать направление из выделенного класса задач, включающих человека в контуре управления [2]. Конкретно системы захвата движений. При этом фокус внимания будет на постобработке данных, а не на областях применения.

Существует два принципиальных способа для оцифровки движений: маркерный и безмаркерный. Маркерный предполагает наличие специальных датчиков. В нашем случае это трехосевые гироскопов и акселерометры. Безмаркерные способы основаны на компьютерном зрении и распознавании образов.

Постобработка данных методов разительно отличается. Далее будем рассматривать только случай для маркерных систем.

Параметры ориентации, которые определяют гироскоп акселерометры, на практике оказываются сильно зашумленными, что создает серьезные проблемы для получения точных данных. Поэтому существует проблема — необходимость адаптации существующих алгоритмов постобработки сырых данных от плат, совмещающих трехосевые гироскопы и акселерометры. Адаптация алгоритма для постобработки данных, полученных с датчиков, позволит подготовить данные для различных real-time system.

Для сравнения качества постобработки возьмем два фильтра: Калмана и Комплементарный.

### Фильтр Калмана.

Используется в задачах определения параметров ориентации как динамической системы, используется уравнение

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{F}_{k+1} \mathbf{x}_k + \mathbf{G}_{k+1} \mathbf{w}_k, \quad (1)$$

где  $\mathbf{x}_k$  — вектор состояния динамической системы;  $\mathbf{F}_{k+1}$ ,  $k$  — переходная матрица состояния системы;  $\mathbf{w}_k$  — вектор возмущения;  $\mathbf{G}_{k+1}$ ,  $k$  — матрица возмущения.

Сигнал на выходе измерительной системы описывается выражением

$$Z_{k+1} = H_{k+1}x_{k+1} + v_{k+1}, \tag{2}$$

где  $Z_k$  – вектор измерения;  $H_k$  – матрица измерения;  $v_k$  – вектор ошибки измерения.

Считается, что возмущающая последовательность  $w_k$  является гауссовской белой последовательностью с нулевым средним:

$$M[w_k] = 0 \tag{3}$$

и корреляционной матрицей:

$$M[w_j w_k^T] = Q_k \delta_{jk}. \tag{4}$$

Последовательность ошибок измерения  $v_k$  представляет собой гауссовскую белую последовательность, для которой

$$M[v_k] = 0 \tag{5}$$

$$\text{и } M[v_j v_k^T] = R_k \delta_{jk}. \tag{6}$$

Случайные процессы  $w_k$  и  $v_k$  независимы, так что:

$$M[v_j w_k^T] = 0. \tag{7}$$

Оптимальная текущая оценка фильтра Калмана описывается соотношением:

$$X_{k+1,k+1} = F_{k+1,k} X_{k,k} + K_{k+1} (Z_{k+1} - H_{k+1} F_{k+1,k} X_{k,k}), \tag{8}$$

где  $X_{k,k}$  – матрица передачи фильтра. Матрица  $K_{k+1}$  определяется соотношениями:

$$K_{k+1} = P_{k+1,k} H_{k+1}^T [H_{k+1} P_{k+1,k} H_{k+1}^T + R_{k+1}]^{-1}, \tag{9}$$

$$P_{k+1,k} = F_{k+1,k} P_{k,k} F_{k+1,k}^T + G_{k+1,k} Q_k G_{k+1,k}^T \tag{10}$$

$$P_{k+1,k+1} = [E - K_{k+1} H_{k+1}] P_{k+1,k} \tag{11}$$

где  $E$  – единичная матрица,  $P_{k+1,k}$  – априорная корреляционная матрица ошибок оценивания,  $P_{k+1,k+1}$  – апостериорная корреляционная матрица ошибок оценивания.

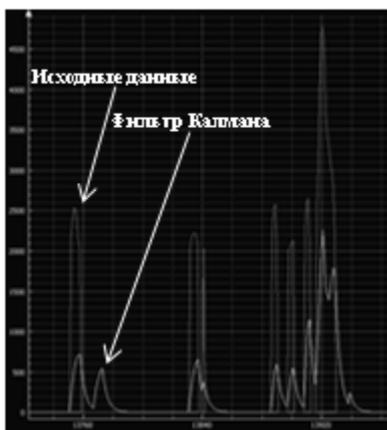


Рис. 2. Фильтр Калмана для единичных значений

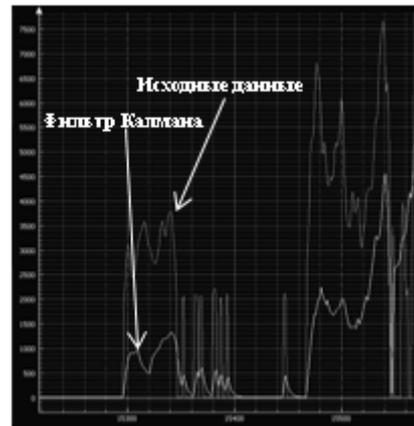


Рис. 3. Фильтр Калмана для группы пиковых значений, различных значений

### Комплементарный фильтр.

Применяется для определения угла наклона. Также данный фильтр опирается на показания акселерометра и гироскопа. Ниже приведем формулу для вычисления этого угла:

$$\varphi[i+1] = (1 - K)(\varphi[i] + \Delta\varphi_H[i+1]) + K\varphi_A[i+1],$$

где  $K$  — коэффициент фильтра (значение находится в диапазоне от 0 до 1),  $\varphi [i], \varphi [i+1]$  — угол, вычисленный при помощи фильтра, на текущем и предыдущем шагах.

Приведем выражение для вычисления угла отклонения:

$$\varphi [i + 1] = (1 - K)(\varphi [i] + \omega [i]\Delta t) + K \cdot \arctg \left( \frac{F_{on\_y} [i+1]}{F_{on\_x} [i+1]} \right).$$

Данный фильтр является сокращенным вариантом фильтра Калмана для одномерного случая, где первое слагаемое являет собой звено предсказания. В данном случае приращение угла определяется исходя из угловой скорости на предыдущем этапе, которая измеряется непосредственно гироскопом.

При этом коэффициент  $K$  является определенной величиной. Все эти факты значительным образом упрощают вычислительный процесс, при этом значение угла можно принять достаточно точным приближением к реальному.

Отметим, что использование гироскопа рационально еще и тем, что на его выходе получается величина угловой скорости, тем самым отпадает необходимость дифференцировать величину угла, которая в свою очередь имеет высокочастотную составляющую.

Крайне важным является тот факт, что на его показания не влияют линейные ускорения. Поэтому и при объединении алгоритма управления желательно, чтобы переменные состояния измерялись датчиками, а не просто рассчитывались, при помощи значений других связующих величин. А это в свою очередь должным образом окажет положительное влияние на запас устойчивости, а также качество регулирования.

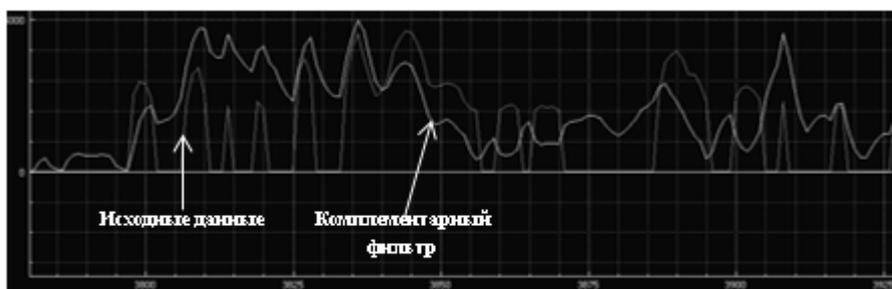


Рис. 4. Пример работы комплементарного фильтра

Сравнение фильтра Калмана и комплементарного фильтра.

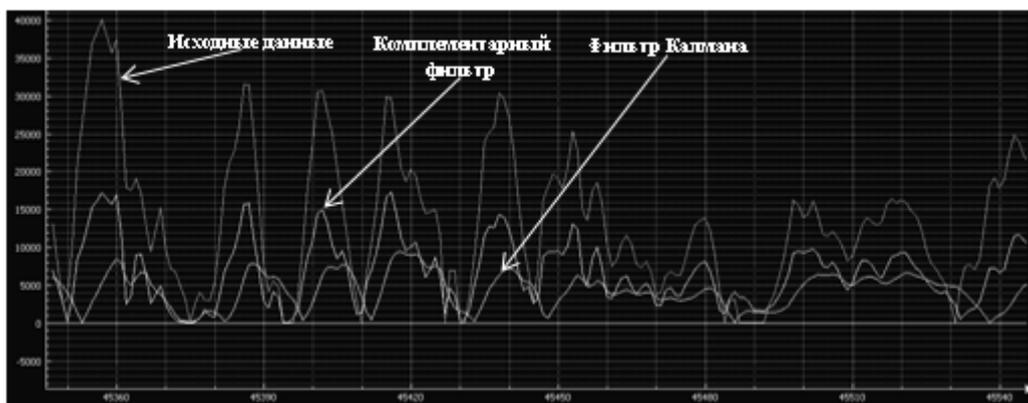


Рис. 5. Сравнение фильтров

Результаты.

Переходной процесс в выходном сигнале фильтра Калмана короче, чем в комплементарном фильтре. Кроме того, ошибка фильтрации для первого значительно меньше, чем для второго. То есть установившиеся значения выходных сигналов для фильтра Калмана гораздо ближе к истинным значениям  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ . Можно утверждать, что фильтр Калмана позволяет производить более эффективную фильтрацию сильно зашумленных сигналов.

Литература:

1. // URL: <http://www.tu32.ru/article3-Киберфизические-системы> (дата обращения: 15.04.2017).
2. Schirner, G. et al. The future of human-in-the-loop cyber-physical systems // Computer. — 2013. — Т. 46. — №. 1. — с. 36–45.
3. Madgwick, S. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays // Bristol (UK), 2010.
4. Kalman, R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems // Journal of Basic Engineering. 1960, N82. P. 35–45.

## Определение поврежденного участка линии кольцевой сети

Суров Леонид Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Филиппов Вадим Владимирович, Филиппов Вадим Владимирович  
 Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина

*Описан способ контроля успешного или неуспешного включения выключателя сетевого резерва с определением отключившихся выключателей и поврежденного участка линии кольцевой сети, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.*

**Ключевые слова:** головной выключатель, секционирующий выключатель, короткое замыкание, датчик рабочего тока, автоматическое включение резерва, блок обработки информации, регистрирующее устройство

## Definition of the damaged location of the line of the ring network

L. D. Surov,  
 V. V. Filippov

*A method for monitoring the success or failure of the circuit breaker to the definition of a reserve network Turn off the damaged section of line and ring network, the structural scheme and described her work with the image of the outputs.*

**Keywords:** head switch, sectionalizing switch, short-circuit, the sensor operating current, switch-reserve information processing unit, a recording device.

Для повышения надежности электроснабжения сельских потребителей, две воздушные линии, питающиеся от разных шин одной двухтрансформаторной подстанции или от разных источников питания, соединяют с помощью сетевого пункта автоматического включения резерва (АВР). При этом линии секционированы и имеется возможность отключения отдельных участков на которых могут происходить короткие замыкания (КЗ). Выключатель сетевого пункта АВР в нормальном режиме работы сети находится в отключенном состоянии, а при возникновении аварийных ситуаций он может успешно или неуспешно включиться. Сетевые пункты АВР находятся на значительном расстоянии от трансформаторной подстанции и обслуживающий персонал информацию об изменении схемы условно-замкнутой кольцевой сети получает по косвенным признакам (например, по телефонным звонкам об отсутствии напряжения у потребителей). Для получения информации об изменении схемы кольцевой сети необходимо проверить состояния секционирующих выключателей и выключателя пункта АВР путем выезда

на места их установки. С целью своевременного получения информации об успешном включении выключателя сетевого пункта АВР разработан способ. [1].

Согласно этому способу с момента появления первого броска тока КЗ на шинах трансформатора основного источника питания начинают отсчет времени, равный выдержки времени включения выключателя пункта АВР. И в момент окончания отсчета этого времени контролируют появление второго броска тока на шинах трансформатора резервного источника питания. И, если он больше нормального рабочего тока, но меньше тока КЗ, то при его появлении устанавливают факт успешного включения выключателя пункта АВР.

Недостатком этого способа является невозможность осуществления с его помощью контроля изменения состояния выключателей линии условно-замкнутой кольцевой сети и определения поврежденного участка.

Для решения такой задачи разработан способ контроля об успешном или неуспешном включении выключателя сетевого резерва с определением отключившихся

выключателей и поврежденного участка линии кольцевой сети [2].

Согласно этому способу, при появлении в линии основного источника питания первого броска тока КЗ, измеряют время его протекания. С момента отключения тока КЗ отсчитывают время выдержки включения выключателя сетевого резерва, при этом в линии резервного источника питания контролируют появление второго броска тока. И, если в момент окончания отсчитываемого времени появляется бросок рабочего тока значением, определяемым нагрузкой резервируемого участка линии основного источника питания, а время протекания первого броска тока КЗ было равно времени выдержки срабатывания защиты головного выключателя (ГВ) линии основного источника питания, то делают вывод об отклю-

чении головного и секционирующего выключателей (СВ) и успешном включении выключателя сетевого резерва при повреждении участка линии, расположенного между отключившимися выключателями. А если появляется второй бросок тока КЗ, который через время выдержки срабатывания защиты с ускорением выключателя сетевого резерва отключится, а время протекания первого броска тока КЗ было равно времени выдержки срабатывания защиты СВ, то делают вывод об отключении СВ и неуспешном включении выключателя сетевого резерва при повреждении участка линии основного источника питания, расположенного смежно с выключателем сетевого резерва.

Для реализации такого контроля разработана структурная схема, изображенная на рис. 1. Она состоит из:

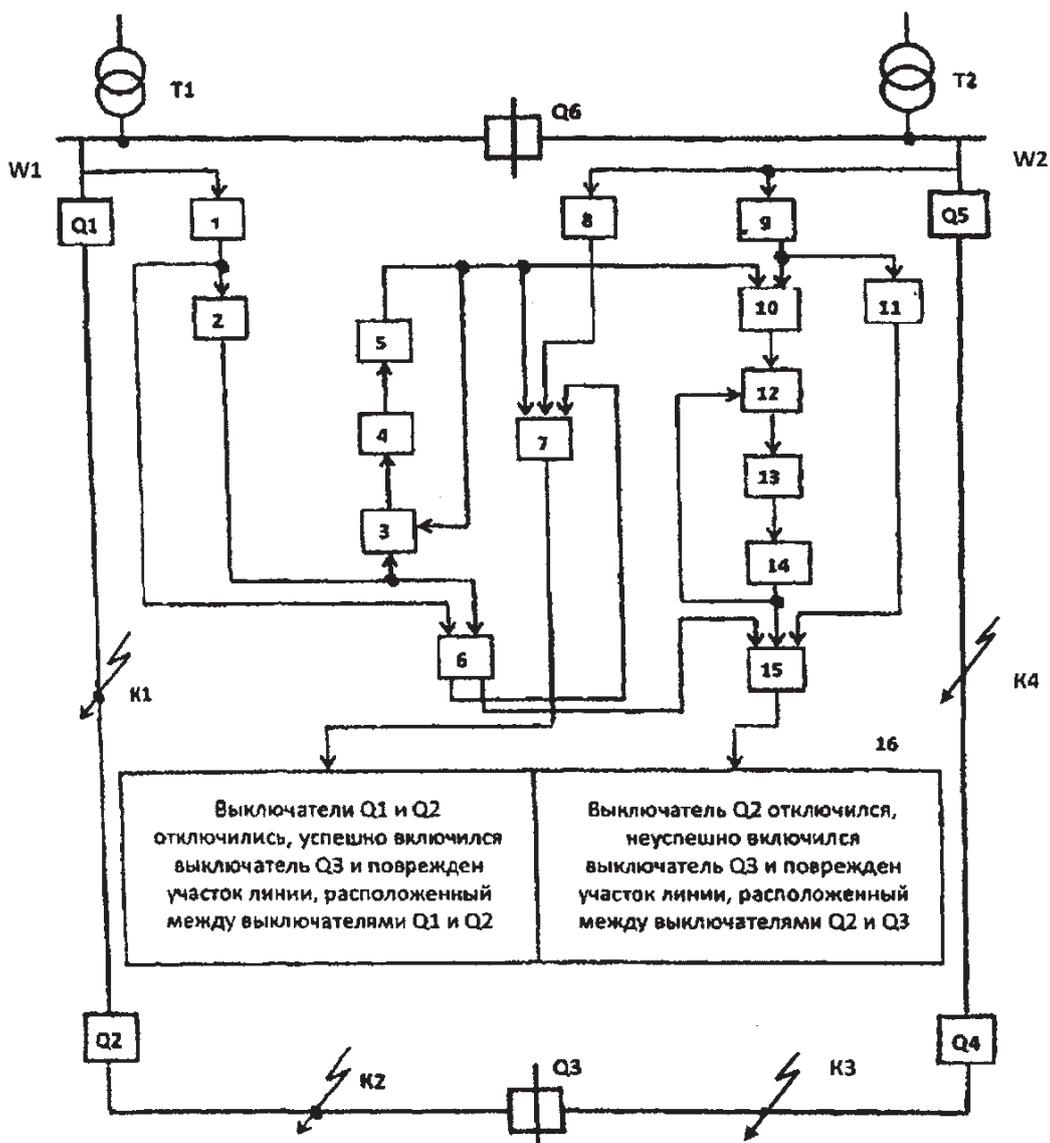


Рис. 1. Упрощенная однолинейная схема двухтрансформаторной подстанции и структурная схема контроля: T1 и T2 — силовые трансформаторы; W1 и W2 — линия основного источника питания и линия резервного источника питания соответственно; Q1 и Q2 головные выключатели, Q2 и Q4 — секционирующие выключатели; Q5 — выключатель сетевого пункта АВР, K1, K2, K3 и K4 — точки короткого замыкания

датчиков тока короткого замыкания (ДТКЗ) 1 и 9; датчика рабочего тока (ДРТ) 8, элементов НЕ 2 и 11; ПАМЯТЬ 3 и 12; ЗАДЕРЖКА 4 и 13; ОДНОВИБРАТОР 5 и 14; И 7, 10, 15; блока обработки информации (БОИ) 6 и регистрирующего устройства (РУ) 16.

Диаграммы выходных сигналов структурной схемы при КЗ в точках К1, К2 имеют вид (см. рис. 2 и рис. 3 соответственно): 17 — на выходе элемента 1; 18 — на выходе элемента 2; 19 — на выходе элемента 3; 20 — на выходе элемента 4; 21 — на выходе элемента 5; 22 — на выходе элемента 6; 23 — на выходе элемента 7; 24 — на выходе элемента 8; 25 — на выходе элемента 9; 26 — на выходе элемента 10; 27 — на выходе элемента 11; 28 — на выходе элемента 12; 29 — на выходе элемента 13; 30 — на выходе элемента 14; 31 — на выходе элемента 15; 32 — в РУ 16.

Работа структурной схемы осуществляется следующим способом.

В нормальном режиме работы выключатели Q1, Q5, Q2 и Q4 включены, а выключатели Q6 и Q3 отключены. На выходах ДТКЗ 1 и 9 сигналов нет (рис. 2, диагр. 17 и 25), поэтому схема находится в режиме контроля.

При возникновении устойчивого КЗ, например, в точке К1, на выходе ДТКЗ 1 появится сигнал (рис. 2, диагр. 17, момент времени  $t_1$ ), который поступит на первый вход БОИ 6, где запомнится момент его поступления, также этот сигнал поступит на вход элемента НЕ 2. При этом сигнал с его выхода исчезнет (рис. 2, диагр. 18).

По истечении времени выдержки срабатывания защиты ГВ 1 он отключится, при этом ток КЗ исчезнет (рис. 2, диагр. 17, момент времени  $t_2$ ) и сигнал на выходе элемента НЕ 2 появится вновь (рис. 2, диагр. 18). Этот сигнал поступит на второй вход БОИ 6 и на вход элемента ПАМЯТЬ 3. БОИ 6 вычислит время протекания тока КЗ, сравнит его с временем выдержек срабатывания защит ГВ 1 и СВ 2 и определит отключившийся выключатель.

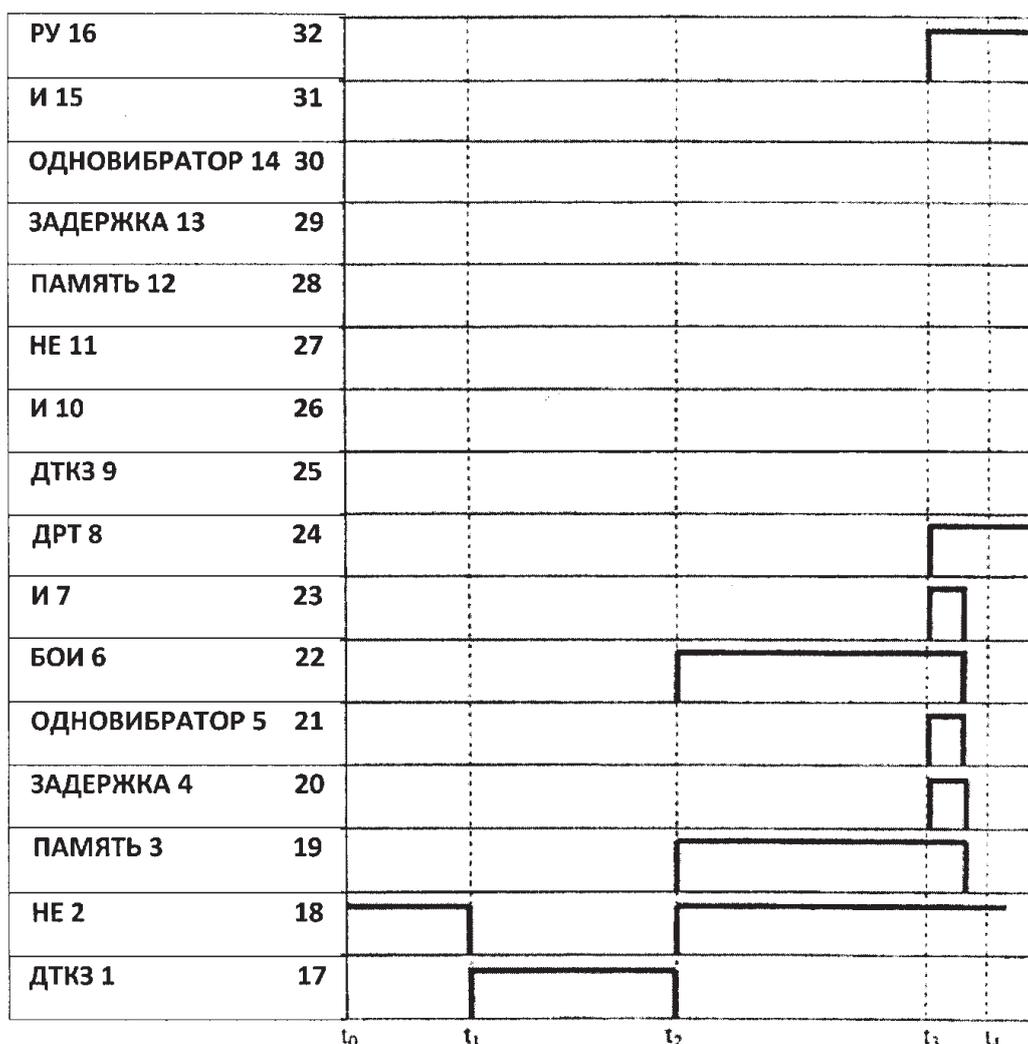


Рис. 2. Диаграммы выходных сигналов структурной схемы:  $t_1$  — момент времени возникновения тока КЗ в точке К1;  $t_2$  — момент времени отключения тока КЗ;  $t_3$  — момент времени включения выключателя Q3;  $t_4$  — момент времени отключения с ускорением выключателя Q3, после его включения на КЗ в точке К2

В данном случае им будет ГВ 1. При этом с первого выхода БОИ 6 пойдет сигнал (рис. 2, диагр. 22), который поступит на третий вход элемента И 7 и будет сохраняться в нем до момента поступления сигнала на первый и второй входы этого элемента. Сигнал, поступивший на элемент ПАМЯТЬ 3, запомнится им (рис. 2, диагр. 19) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 4. С выхода этого элемента сигнал появится через время выдержки включения выключателя 3 (рис. 2, диагр. 20, момент времени  $t_3$ ) и поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 5. Он совершит одно колебание (рис. 2, диагр. 21), этот сигнал «сбросит» память с элемента 3 (рис. 2, диаграмма 19) и поступит на первые входы элементов И7 и 10. В этот мо-

мент времени ( $t_4$ ) выключатель Q3 включится и подключит часть неповрежденной линии основного источника питания к линии резервного источника питания, при этом в последней возникнет бросок рабочего тока, обусловленный подключенной нагрузкой, и на выходе ДРТ 8 появится сигнал (рис. 2, диаграмма 24), который поступит на второй вход элемента И7. И 7 сработает, появится его выходной сигнал (рис. 2, диагр. 23), он поступит в РУ 16, и там появится информация о том, что выключатели Q1 и Q2 отключились, успешно включился выключатель Q3 и поврежден участок линии, расположенной между выключателями Q1 и Q2.

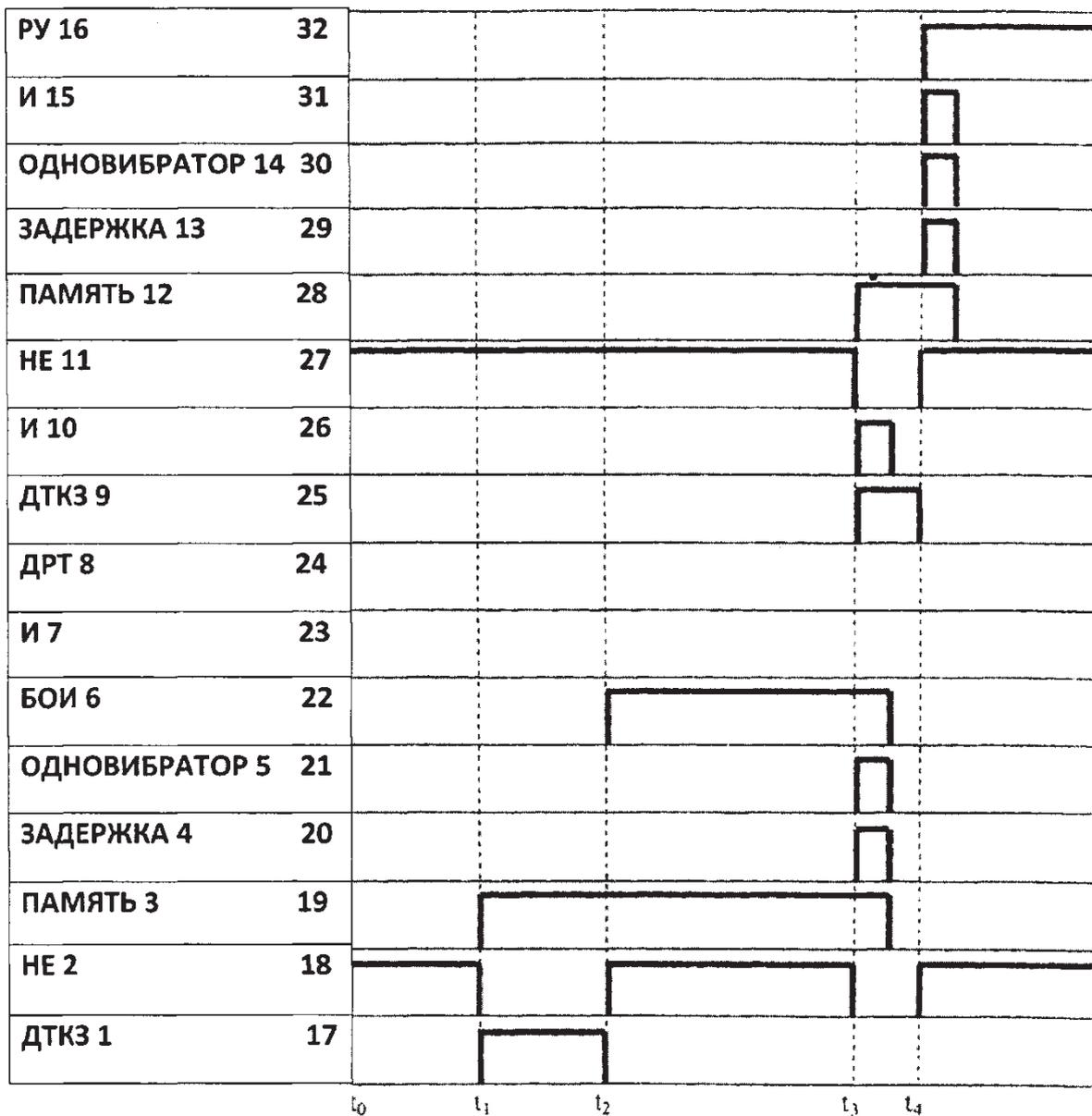


Рис. 3. Диаграммы выходных сигналов элементов структурной схемы контроля:

$t_1$  — момент возникновения тока КЗ в точке К2;  $t_2$  — время выдержки срабатывания защиты выключателя Q2;  $t_4$  — момент времени отключения выключателя Q3

Если устойчивое КЗ произойдет в точке К2, то сработает защита выключателя Q2 и он отключится. При этом в момент времени возникновения КЗ  $t_1$  на выходе ДТКЗ I появится сигнал (рис. 3, диагр. 17). Он поступит на первый вход БОИ 6 и запомнится им. Также он поступит на вход элемента НЕ 2, при этом с его выхода сигнал исчезнет (рис. 3, диагр. 18, момент времени  $t_1$ ). В момент окончания времени выдержки срабатывания защиты выключателя Q2 ( $t_2$ ) сигнал на выходе элемента НЕ 2 появится вновь (рис. 3, диагр. 18) и поступит на второй вход БОИ 6 и на вход элемента ПАМЯТЬ 3. БОИ 6 вычислит время протекания тока КЗ и так, как в данном случае оно будет равно времени выдержки срабатывания защиты выключателя Q2, то со второго выхода БОИ 6 на первый вход элемента И 15 поступит сигнал и сохранится в нем до момента поступления сигналов на второй и третий входы этого элемента. Сигнал, поступивший на элемент ПАМЯТЬ 3, запомнится им (рис. 3, диагр. 19) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 4, с выхода которого сигнал появится через время выдержки включения выключателя Q3 (рис. 3, диаграмма 20) и поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 5. Он произведет одно колебание (рис. 3, диагр. 21), этим сигналом «сбросит» память с элемента 3 (рис. 3, диагр. 19) и поступит на первый вход элемента И 10. В этот момент времени ( $t_4$ ) выключатель Q3 включится, причем включится на КЗ, поэтому в линии резервного источника питания появится ток КЗ и появится выходной сигнал на ДТКЗ 9 (рис. 3, диагр. 25). Этот сигнал поступит на второй вход элемента И10, и он сработает (рис. 3, диагр. 26). Сигнал элемента И10 поступит на вход

элемента ПАМЯТЬ 12, запомнится им (рис. 3, диагр. 28) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 13. С выхода этого элемента сигнал появится через время выдержки срабатывания защиты с ускорением выключателя Q3 (рис. 3, диагр. 29) и поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 14. Он произведет одно колебание (рис. 3, диагр. 30), этот сигнал «сбросит» память с элемента 12 (рис. 3, диагр. 28) и поступит на второй вход элемента И15. В этот момент времени ( $t_4$ ) выключатель Q3 отключится. Ток КЗ исчезнет (рис. 3, диаграмма 25, момент времени  $t_4$ ), и появится сигнал на выходе элемента НЕ 11 (рис. 3, диагр. 27). Он поступит на третий вход элемента И15, и этот элемент сработает (рис. 3, диагр. 31). Его выходной сигнал поступит в РУ 16 и там появится информация о том, что выключатель Q2 отключился, неуспешно включился выключатель Q3 и поврежден участок линии, расположенный между выключателями Q2 и Q3.

Контроль по определению поврежденного участка линии W2 при КЗ в точке К3 и К4 можно осуществить по структурной схеме, аналогичной выше рассмотренной, где основным источником питания будет являться линия W2, а резервным — W1.

Таким образом, при использовании разработанного способа можно в режиме реального времени получать информацию об изменении состояния линии кольцевой сети при успешном или неуспешном включении выключателя сетевого резерва с определением отключившихся выключателей и поврежденного участка. Это позволит уменьшить ущерб за счет сокращения времени недоотпуска электроэнергии сельскохозяйственным предприятиям.

#### Литература:

1. Патент РФ № 2543067 С1, опубл. 27.02.2015 г. Бюл. № 6.
2. Патент РФ № 2214667, опубл. 20.10.2003 г. Бюл. № 20.

## Распространение волн в цилиндрическом слое с жидкостью

Тажобаева Акерке Курбанбайкызы, магистрант;  
 Марасулов Абдурахим Мустафаевич, доктор технических наук, доцент  
 Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Яссави (г. Туркестан)

*В работе рассматривается распространение волн в двухслойном цилиндрическом теле с идеальной жидкостью. Задача решается в потенциалах перемещений. Дисперсионное уравнение решается методом Мюллера.*

**Ключевые слова:** фазовая скорость, продольные и поперечные волны, цилиндрическая оболочка

Поглощения продольных и поперечных волн в среде является одной из важных характеристик, используемых в промысловой и разведочной геофизике. Чаще всего такие параметры определяет с помощью скважинных измерений методом акустического каротажа. Однако, если измерение затухания продольной волны P не вызывает больших затруднений, так как она образует первые вступления, то определение поглощения поперечной волны S является более сложной задачей, поскольку она вступает на фоне сильных интерференционных колебаний, вызываемых резонансными явлениями в скважине [1, 2]. Все эти данные позволяют провести теоретические исследования затухания свободных волн в скважине с коэффициентами затухания P — и S — волн. Пусть, окружающая скважину среда является твердой,

скорость продольных волн в ней обозначим через  $C_{p2}$ ,  $C_{s2}$ ,  $(-\infty < z < \infty, r > r_0)$  и скорости распространение волн в жидкости  $C_{p1}(r \leq r_0, -\infty < z < \infty)$ . Потенциалы скоростей волн, распространяющихся в такой системе, удовлетворяют волновым уравнениям:

$$\frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_i}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial z^2} = \frac{1}{C_{pi}^2} \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial t^2}; \quad (i=1,2)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_2}{\partial r} - \frac{\varphi_2}{r^2} + \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial z^2} = \frac{1}{C_{s2}^2} \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2};$$

На границе  $r=r_0$  требуется выполнение условиями непрерывности нормальных составляющих смещений и напряжений и равенства нулю касательных напряжений:

$$\left. \frac{\partial U_2}{\partial t} \right|_{r=r_0} = \left. \frac{\partial U_1}{\partial t} \right|_{r=r_0}; \quad \sigma_{rr2} \Big|_{r=r_0} = \sigma_{rr1} \Big|_{r=r_0}; \quad \sigma_{r\theta 2} \Big|_{r=r_0} = 0.$$

В такой системе могут распространяться осесимметричные нормальные волны двух типов, различающиеся характером дисперсии и диапазоном изменения фазовых скоростей как функции частоты. Один тип волн, условно называемый гидроволновой, имеет фазовые скорости, всегда меньше скорости звука в жидкости. Дисперсионное уравнение для него записывается в виде:

$$\rho_0 \frac{C^4}{C_{s2}^2} \alpha_2 I_0(\alpha_1) + \alpha_1 I_1(\alpha_1) \left\{ \left( 2 - \frac{C^2}{C_{s2}^2} \right) \frac{H_0(\bar{\beta})}{H_1(\bar{\beta})} - 4\alpha_2 \beta_2 \frac{H_0(\bar{\gamma})}{H_1(\bar{\gamma})} - \frac{2\alpha_2 C^2}{kr_0 C_{s2}^2} \right\} = 0 \quad (1)$$

Где:

$$\rho_0 = \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad \bar{\alpha} = kr_0 \alpha_1; \quad \bar{\beta} = kr_0 \alpha_2; \quad r = \frac{\omega}{c};$$

$$\alpha_1 = \left( 1 - C^2 / C_{p1}^2 \right); \quad \alpha_2 = \left( 1 - C^2 / C_{s1}^2 \right)^{1/2}; \quad \bar{\gamma} = kr_0 \alpha_2;$$

С фазовая скорость волн;  $\rho_1, \rho_2$  – плотности материала;  $I_0(\bar{\alpha}), I_1(\bar{\alpha}), H_0^{(1)}(\bar{\beta}), H_1^{(1)}(\bar{\beta})$  – функции Бесселя и Ханкеля нулевого и первого порядки [1]. Дисперсионное уравнение (1) решается методом Мюллера.

Рассмотрим собственные колебания двухслойной цилиндрической оболочки находящиеся в упругой среде, обозначим через  $C_{pi}, C_{si}, \rho_i, \mu_i, \lambda_i (i=1,2,3)$  соответственно скорость продольной и поперечной волны, плотность и модуль упругости. Рассмотрим задачу о распространении свободных волн, возникающих в такой системе. Уравнения движения среды для продольных  $\varphi_i$  и поперечных  $\psi_i$  потенциалов представляется в виде:

$$\frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_i}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial z^2} = \frac{1}{C_{pi}^2} \frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial t^2}$$

$$(2) \frac{\partial^2 \psi_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi_i}{\partial r} - \frac{\psi_i}{r^2} + \frac{\partial^2 \psi_i}{\partial z^2} = \frac{1}{C_{ci}^2} \frac{\partial^2 \psi_i}{\partial t^2} \quad (i = 0,1,2,3).$$

В уравнениях (2) следует подставить  $\varphi_2 = 0$ , если в затрубном пространстве находится жидкость. Соответствующие напряжения  $\sigma_{rr}, \tau_r, \theta$  и смещения  $u_r, u_z$  определяются через потенциалы  $\varphi_i, \psi_i$  равенствами:

$$\tau_{rz} = 2\mu \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial z} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right] + \frac{\mu}{C_s^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}, \quad \tau_{rr} = \frac{\lambda}{C_p^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + 2\mu \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - 2\mu \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial r}$$

$$U_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{\partial \psi}{\partial z}; \quad U_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\psi}{z}.$$

На границах раздела упругой среды с жидкостью выполняются граничные условия непрерывности нормальных составляющих смещений и напряжений, а также равенство нулю касательных напряжений в твердом теле:

$$U_r^{(0)} \Big|_{r=r_1} = U_r^{(1)} \Big|_{r=r_2} = U_r^{(2)} \Big|_{r=r_2} ; U_r^{(2)} \Big|_{r=r_3} = U_r^{(3)} \Big|_{r=r_3} ; \tag{3, a}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}^{(0)} \Big|_{r=r_1} &= \sigma_{rr}^{(1)} \Big|_{r=r_1} ; \\ \sigma_{rr}^{(1)} \Big|_{r=r_2} &= \sigma_{rr}^{(2)} \Big|_{r=r_2} ; \sigma_{rr}^{(2)} \Big|_{r=r_3} = \sigma_{rr}^{(3)} \Big|_{r=r_3} ; \\ \tau_{rz}^{(1)} \Big|_{r=r_1} &= 0 ; \\ \tau_{r\theta}^{(1)} \Big|_{r=r_2} &= 0 ; \tau_{r\theta}^{(2)} \Big|_{r=r_3} = 0. \end{aligned}$$

Если жидкость заменена упругой средой, то на контакте двух сред ставятся следующие условия:

$$\begin{aligned} U_r^{(0)} \Big|_{r=r_1} &= U_r^{(1)} \Big|_{r=r_1} ; \sigma_{rr}^{(0)} \Big|_{r=r_1} = \sigma_{rr}^{(1)} \Big|_{r=r_1} ; U_r^{(1)} \Big|_{r=r_2} = U_r^{(2)} \Big|_{r=r_2} ; \\ \sigma_{rr}^{(1)} \Big|_{r=r_2} &= \sigma_{rr}^{(2)} \Big|_{r=r_2} ; \sigma_{rz}^{(1)} \Big|_{r=r_1} = 0 ; \sigma_{rz}^{(2)} \Big|_{r=r_3} = \sigma_{rz}^{(3)} \Big|_{r=r_3} ; \\ \sigma_{rr}^{(2)} \Big|_{r=r_3} &= \sigma_{rr}^{(3)} \Big|_{r=r_3} ; U_r^{(2)} \Big|_{r=r_3} = U_r^{(3)} \Big|_{r=r_3} ; \end{aligned} \tag{3, b}$$

Решения уравнений (2), удовлетворяют условию конечности в точке  $r=0$  и условиям убывания на бесконечности и выражаются через модифицированные функции Бесселя.

На границе контакта слоев  $r=r_2$  ставится условие жесткого (или скользящего) контакта (непрерывны нормальные составляющие напряжений и смещений, отсутствуют касательные составляющие напряжений) и контакт между внешним слоем и окружающей средой жесткий (непрерывны нормальные и тангенциальные составляющие напряжений и смещений). Дисперсионное уравнение записывается в виде:

$$\Delta(k, \eta) = 0 \tag{4}$$

Оно представимо в виде определителя, у которого элементы  $\delta_{ij}$  ( $1 \leq i \leq 1$ ), ( $1 \leq j \leq 1$ ), отличные от нуля, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= -\rho_{01} J_0^2(x_0); \delta_{31} = -i\alpha_0 J_1(x_0); \delta_{12} = -\rho_1 J_0(x_1) + \frac{2i\alpha_{ij}}{kr_1 u_{ij}}, \\ \delta_{14} &= -2i\beta_1 J_0(y_1) - \frac{2}{kr_1} J_1(y_1); \delta_{24} = \rho_1 J_1(y_2); \\ \delta_{22} &= -2i\alpha_1 J_1(x_1); \delta_{32} = i\alpha_1 J_1(x_1); \delta_{42} = \rho_1 J_0(x_2) - \frac{2i}{kr_2} J_1 k_2 ; \\ \delta_{52} &= -2i\alpha_1 J_1(x_2); \delta_{62} = i\alpha_1 J_1(x_2); \\ \delta_{13} &= -\rho_1 N_1(x_1) + \frac{2i\alpha_1}{kr_1} N_1 x_1; \delta_{32} = -2i\alpha_1 N_1(x_1); \delta_{13} = \alpha_1 N_1(x_2); \\ \delta_{43} &= -\rho_1 N_0(x_3) - \frac{2i\alpha_1}{kr_2} N_1(x_2); \delta_{63} = i\alpha_1 N_1(x_2). \end{aligned}$$

Остальные элементы также записываются в аналогичном виде.

Здесь  $x_0 = -ikr_1 a_0$ ;  $x_1 = -ikr_1 a_1$ ;  $x_2 = -ikr_2 a_0$ ;  $x_3 = -ikr_2 a_2$ ;  $y_1 = -ikr_1 \beta_1$ , в двухслойном цилиндре  $V$  определяет скорость обобщенной волны по двухслойному цилиндру. Фазовая скорость волны определяется величиной реальной части корня, величины мнимой части корня связаны с затуханием  $\chi$  на единице расстояния зависимостью:

$$\chi = \frac{2\pi m V}{(ReV)^2};$$

Дисперсионное уравнения (4) решается методом Мюллера. Значение левой части на каждой итерации метода Мюллера определяется методом Гаусса с выделением главного элемента. Нами были составлены программы и проведены расчеты дисперсии и затухания волны Лэмба для моделей скважин, описываемых граничными условиями (3, а) и (3, б). Исходя из физической постановки задачи, будем считать, что поглощением обладают буровая жидкость, цемент, тампонажная смесь, поглощением же в материале колонны и в окружающей среде будем пренебрегать. Переход к системе с поглощением был сделан посредством введения комплексных параметров сред. Численные результаты получены при следующих значениях параметров:

$$C_{p0} = 1500 \text{ м/с}; C_{p1} = 1500 \text{ м/с}; C_{p2} = 1500 \text{ м/с};$$

$$C_{p3} = 5300 \text{ м/с}; C_{s1} = 2900 \text{ м/с}; C_{s2} = 2000 \text{ м/с};$$

$$C_{s3} = 2000 \text{ м/с}; \rho_0 = 1 \text{ г/см}^3; \rho_1 = 8 \text{ г/см}^3;$$

$$\rho_2 = 3 \text{ г/см}^3; \rho_4 = 4 \text{ г/см}^3; \gamma_1 = 0.05 \text{ м};$$

$$\gamma_2 = 0.06 \text{ м}; \gamma_3 = 0.067 \text{ м}.$$

Результаты расчетов представлены в таблице. Видно, что фазовая скорость слабо зависит от волнового числа.

**Таблица 1. Изменение фазовой скорости С (м/с) в зависимости от волнового числа (α/а)**

	1	2	3	4	5
1	1450,121	1450,024	1451,01	1456,28	1450,82
2	1456,3	1456,09	1456,013	1456,72	1455,3
3	1462,24	1462,50	1462,03	1462,4	1461,9

Из анализа значений фазовой скорости выявлено, что разница между скоростями осесимметричных и неосесимметричных волн первой моды мала для всех значений волнового числа, кроме близких к нулю (область очень длинных волн), а минимумы части первой моды для всех значений n совпадают, так что и в данном случае первая резонансная скорость может быть определена из решения соответствующей осесимметричной задачи.

Литература:

1. Айнола, Л. А., Нигул У. К. Волновые процессы деформации упругих плит и оболочек. — Изв. АН Эст. ССР, 1965, 14, № 1, с. 3–63.
2. Викторов, И. А. Ультразвуковые волны Лэмба. — Акуст. ж. 1965, II, вып. I, с. 1–18.

## Исследование влияния рельефа хлопкового поля на работу двухъярусного плуга

Темиров Исроил Гуломович, кандидат технических наук, доцент  
 Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

При вспашке хлопковых полей работа пахотного агрегата происходит в условиях явно выраженного неровного рельефа поля, на поверхности которого имеются искусственно созданные поливные борозды и рядки с определенной шириной междурядий. В практике хлопководства в целях обеспечения поливного уклона полей пахотные агрегаты движутся вдоль поливных борозд. Однако при таком движении опорные колеса плуга занимают различные положения относительно поверхности гребня рядков [1].

Для установления влияния рельефа хлопкового поля на работу плугов сделаем следующие допущения:

1. Почва под воздействием опорных колес не деформируется.
2. Неровности поперечного профиля между междурядьями одинаковые на всем поле.
3. Неровности хлопкового поля в координатной плоскости описываются синусоидой в виде [2]

$$z = \frac{h}{2} \sin A (x + e), \tag{1}$$

где  $h$  — высота неровностей хлопкового поля, см;  $A$  — коэффициент, определяющий период синусоиды;  $e$  — сдвиг фаз синусоиды, см.

Период синусоиды зависит от ширины междурядья, т. е.  $A = 2\pi/B_m$ .

При вспашке плуг на заданную глубину пахоты устанавливают с учетом неровности рельефа поля.

Между заданной глубиной обработки  $a_3$  и неровностью хлопкового поля существует следующая зависимость

$$a_3 = a_1 + \frac{h}{2} a_n + a_{3в},$$

где  $a$  — расстояние от дна поливной борозды до дна борозды пахотного слоя;

$a_{3в}$  и  $a_n$  — заданные глубины обработки верхним и нижним корпусами.

Фактическая глубина обработки  $a_{ф}$  ярусным плугом будет изменяться в зависимости от места расположения опорного колеса (рис. 1, а). При качении колеса выше оси  $x$  глубина обработки уменьшается (рис. 1, б), а ниже оси  $x$  — увеличивается (рис. 1, а). При этом изменяется глубина обработки верхним корпусом, а глубина обработки нижним корпусом остается постоянной.

Из рис. 1, а, б имеем  $a_{ф} = a_n + a_{фв}$

Фактическая глубина обработки верхним корпусом

$$a_{фв} = a_{3в} \pm z_{ок} \quad (2)$$

где  $z_{ок}$  — высота расположения точки касания с почвой опорного колеса относительно абсциссы  $OX$ .

$$\text{Тогда } a_{ф} = a_n + a_{3в} \pm z_{ок} \quad (3)$$

Значение  $z_{ок}$  колеса в каждом проходе изменяется в зависимости от ширины междурядья, ширины захвата и количества корпусов плуга, а также неровности рельефа.

Для установления закономерности изменения  $z_{ок}$  от указанных параметров, навесной плуг располагают в междурядье так, чтобы конец лемеха последнего корпуса и середина откоса гребня лежали в одной вертикальной плоскости. При этом за начало координатных осей выберем точку  $O$  середины откоса (рис. 2).

Из рис. 2 определим координаты точки  $k$  опорного колеса для первого прохода плуга

$$X_{ок} = nB_k + m = B_{пл} + m,$$

где  $m$  — расстояние между колесом и полевым образом последнего корпуса.

Для последующих проходов плуга имеем

$$X_{ki} = \kappa_i nB_k + m = \kappa_i B_{пл} + m,$$

$$z_{ki} = \frac{h}{2} \sin \left[ \frac{2\pi}{B_m} (\kappa_i nB_k + m) + \pi \right],$$

где  $\kappa_i$  — число проходов плуга.

Подставив  $z_{ki}$  в (3), имеем

$$a_{ф} = a_n + a_{3в} + \frac{h}{2} \sin \left[ \frac{2\pi}{B_m} (\kappa_i h B_k + m) + \pi \right]. \quad (4)$$

Известно, что качество двухъярусной вспашки в основном зависит от соотношения глубины обработки нижнего и верхнего ярусов, т. е.  $i = a_n / a_{3в}$ .

При обработке полей с неровным рельефом  $i = a_n / a_{фв}$ .

Результаты расчетов на ЭВМ для 10-ти проходов плуга показывают, что при обработке полей из-под хлопчатника с неровным рельефом глубина обработки изменяется в больших пределах, а дно борозды получается ступенчатым. При этом неравномерность глубины обработки значительно превышает допустимую величину. На полях с междурядьем  $B_m = 90$  см при  $h = 18$  см неравномерность глубины обработки составляет  $\pm 8,8$  см, а на полях  $B_m = 60$  см при  $h = 12$  см —  $\pm 5,35$  см.

При установленном  $i = 2$ , его значение изменяется при обработке полей с  $B_m = 90$  см от 1,06 до 8,33, а при  $B_m = 60$  см от 1,49 до 4,21. Величина  $i$  при установленном значении, равном 1, варьирует в пределах от 0,82 до 1,53 при  $B_m = 60$  см, а при  $B_m = 90$  см от 0,63 до 2,42. Все это приводит к нарушению технологии двухъярусной вспашки, неравномерной укладке пластов, ухудшению заделки растительных остатков и других агротехнических показателей плуга. При этом изменяется форма и площадь поперечного сечения пласта, приходящаяся на корпус и плуг при каждом проходе. В результате изменяется величина и точки приложения равнодействующей сил сопротивления почвы на плуг.

Наилучшей схемой расстановки верхних и нижних корпусов двухъярусных плугов по глубине вспашки являются: 20: 10 ( $i = 2$ ) и 15: 15 ( $i = 1$ ) при вспашке на глубину  $a = 30$  см и 20: 20 ( $i = 1$ ) при  $a = 40$  см.

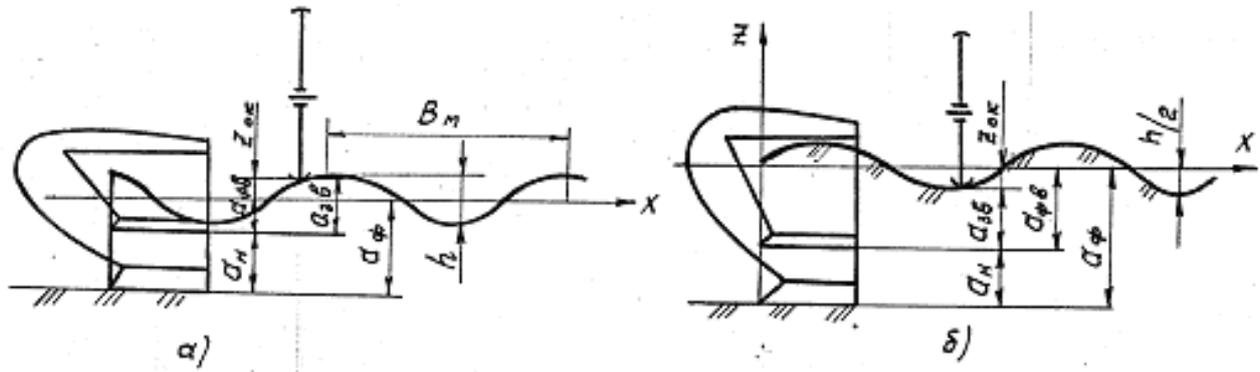


Рис. 1. Влияние места расположения опорного колеса в междурядье на глубину обработки почвы плугом

При установленном  $i = 2$ , его значение изменяется при обработке полей с  $B_{м} = 90$  см от 1,06 до 8,33, а при  $B_{м} = 60$  см от 1,49 до 4,21. Величина  $i$  при установленном значении, равном 1, варьирует в пределах от 0,82 до 1,53 при  $B_{м} = 60$  см, а при  $B_{м} = 90$  см от 0,63 до 2,42. Все это приводит к нарушению технологии двухъярусной вспашки, неравномерной укладке пластов, ухудшению заделки растительных остатков и других агротехнических показателей плуга. При этом изменяется форма и площадь поперечного сечения пласта, приходящаяся на корпус и плуг при каждом проходе. В результате изменяется величина и точки приложения равнодействующей сил сопротивления почвы на плуг.

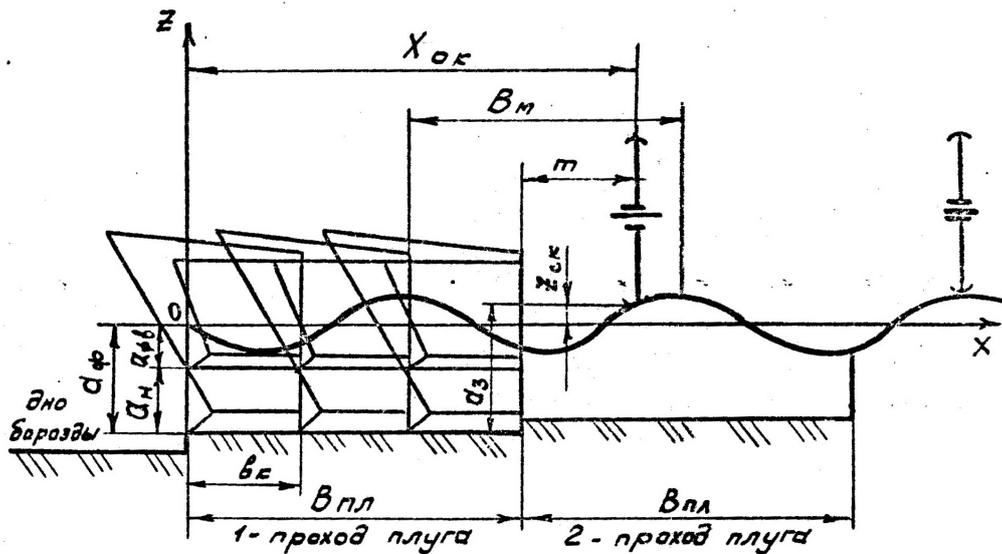


Рис. 2. Схема к определению фактической глубины пахоты двухъярусным плугом

Наилучшей схемой расстановки верхних и нижних корпусов двухъярусных плугов по глубине вспашки являются: 20: 10 ( $i = 2$ ) и 15: 15 ( $i = 1$ ) при вспашке на глубину  $a = 30$  см и 20: 20 ( $i = 1$ ) при  $a = 40$  см.

Анализ полученных данных показывает, что при несоответствии ширины захвата корпусов и ширины захвата плуга ширине междурядья резко ухудшается равномерность глубины пахоты. При этом глубина пахоты изменяется на каждом проходе плуга. Соответственно дно борозды получается ступенчатым. Неравномерность глубины пахоты приводит к нарушению технологии двухъярусной вспашки. Отношение глубины обработки нижним корпусом и глубины обработки верхним корпусом варьирует в больших пределах. Площадь поперечного сечения пласта, приходящаяся на верхние и нижние корпуса, также переменна.

Таким образом, двухъярусные плуги, применяемые в зоне хлопководства, не полностью отвечают агротехническим требованиям, в первую очередь, из-за неприспособленности их к явно выраженному микрорельефу хлопкового поля. С агротехнической и энергетической точек зрения корпуса двухъярусного плуга целесообразно выполнить с шириной захвата, равной половине ширине междурядий, число корпусов должно быть четным. Это позволит за каждый проход агрегата обрабатывать определенное число междурядий, обеспечит постоянство места размещения опорного колеса в междурядье, значительно выравнивает загруженность отдельных корпусов плуга.

Литература:

1. Исаев, К. Исследование работы навесного плуга в условиях орошаемого земледелия: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук.-Ташкент, 1979. — 27 с.
2. Маматов, Ф.М. Механико-технологическое обоснование технических средств для основной обработки почвы в зонах хлопкосеяния: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. — М. 1992. — 42 с.

## ГЕОГРАФИЯ

### Рекреационный потенциал Республики Крым

Бирюкова Дарья Владимировна, студент;

Лапшова Татьяна Андреевна, студент

Арзамасский филиал Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского

Данная статья основана на материалах, собранных авторами в периоды их работы в Крыму, в Международном детском центре «Артек», в 2015–2017 гг.

Еще со времен СССР Крым является всероссийской здравницей. Благодаря красоте природы, мягкому климату, множеству интереснейших исторических памятников, удобству сухопутных, морских и воздушных сообщений Крымский полуостров стал излюбленным регионом активного отдыха — массового туризма. Так, за 2016 год в Крыму побывало более 5,5 миллионов отдыхающих. Особой популярностью пользуются преимущественно Южный берег и Горный Крым. Для развития туризма и отдыха в Крыму существуют объективные предпосылки: большой природный и культурный потенциал, привлекательный и перспективный рынок [4].

Крымский полуостров занимает сравнительно небольшую территорию по площади — около 26 тысяч квадратных километров. Омывается Черным и Азовским морями, расположен практически на границе двух климатических поясов: умеренного пояса и субтропиков. Крымский полуостров соединяется с Русской равниной на севере узким (8 км) Перекопским перешейком, являющимся крайней северной точкой и удалён от мыса Сарыч (крайней южной) на 207 км. У Крыма два полуострова: на западе — Тарханкутский, на востоке — Керченский, который отделяется от материковой части России одноименным проливом. На северо-востоке Крым омывается заливом Сиваш, а на северо-западе — Каркинитским заливом. Крайняя южная точка Крыма доходит до 44° с. ш. [2].

По геологическому строению и характеру поверхности Крымский полуостров делится на две неравные части: большую — северную равнинную и меньшую — южную, занятую Крымскими горами. Крымские горы образуют три параллельные гряды, понижающиеся, словно гигантские ступени, к северу. Между Главной грядой и Черным морем расположен Южный берег Крыма. Крымская равнина простирается от Крымского предгорья до Черного моря на северо-западе, Перекопского перешейка на севере и залива Сиваш на северо-востоке.

Климатические условия в разных частях Крыма неодинаковы. Для северной, большей части территории Крыма характерен континентальный климат умеренного пояса, для Южного берега Крыма — близкий к субтропическому средиземноморскому. Основным климаторазделом служит Главная Крымская гряда [6]. На Южном берегу Крыма климат приобретает черты средиземноморского типа. Зима теплая и влажная. Средняя температура января — февраля в Ялте +3°C +4°C, снежный покров образуется исключительно редко. Средняя температура июля на полуострове изменяется от +15°C в горах (Ай-Петри) до +23°C в равнинном Крыму (Клепинино) и +24,5°C на Южном берегу (Мисхор). Абсолютный максимум Крыма +39,6°C [2]. Среднее годовое количество осадков, выпадающих в Крыму — 400 мм. Более 80% всей площади полуострова получает от 300 до 500 мм осадков в год.

Поверхностные воды представлены реками и речками, пресноводными искусственными водохранилищами и прудами, а также естественными соляными озерами. Горный Крым — основная область водосбора и питания текучих поверхностных вод Крыма. Поэтому для Главной гряды характерна наибольшая густота речной сети. Самые большие в Крыму по длине и площади бассейна реки — Салгир, Зуя, Черная, Индол и другие — берут начало на северных склонах Крымских гор. Большинство рек Южного берега Крыма имеет незначительные длину течения (2–15 км) и величину водосбора.

В Крыму насчитывается более 50 соляных озер, расположенных в равнинной части полуострова и образующих пять более или менее обособленных групп: Евпаторийскую, Тарханкутскую, Перекопскую, Чонгаро-Арабатскую и Керченскую. Основная масса крымских озер генетически связана с омывающими полуостров морями (3).

Богатством флористического состава отличается растительность Крыма. В растительном покрове доминируют два зональных типа растительности — степная (на равнине северного Крыма) и лесная (в горном Крыму). Для крайнего юга характерна субсредиземноморская расти-

тельность (типичны дикая фисташка, можжевельник высокий, земляничник мелкоплодный, крымская сосна и др.). На значительной площади естественная растительность здесь замещена антропогенной (парки, сады, виноградники, плантации табака и эфирномасличных культур). Леса, преимущественно из дуба, бука, ясеня, каштана, граба и сосны, покрывают 11% всей территории полуострова. Главная ценность лесов — водоохранная, почвозащитная и бальнеологическая. Фитонциды посаженных деревьев: сосны алеппской, итальянской, крымской, кедров гималайского и атласского, лавров и других благотворно влияют на организм человека. Степная растительность равнинного Крыма почти всюду уступила место полям зерновых, виноградникам и садам [1].

Таким образом, Крым обладает всеми необходимыми рекреационными ресурсами — море, горы, лес, благоприятный климат, исторические памятники различных культур. В Крыму можно найти множество домов отдыха, лагерей (например, Артек), разнообразных гостиниц, от довольно скромных до пятизвездочных. Самые популярные места отдыха — Ялта и Алушта вместе со всем южным берегом Крыма (ЮБК), Судак, Евпатория и т. д. [10]. Всего в Крыму насчитывается более 600 санаторно-курортных и оздоровительных учреждений, используемых как для круглогодичного, так и для сезонного лечения и отдыха [5]. Здоровый отдых для подрастающего поколения предоставляется в Крыму в детских лагерях — Песчаное «Ай-Кэмп» и «Мандарин». Ярким примером хорошего детского лагеря на лето в Крыму является «Smart Camp» в Заозерном, рядом с Евпаторией и т. д. Международный детский центр «Артек» занимает лидирующую позицию в рейтинге лучших лагерей России. Санатории Крыма предоставляют своим гостям разнообразные лечебные, восстановительные и оздоровительные программы. По оценкам специалистов и отзывам отдыхающих, как минимум 10–15 санаториев Крыма можно назвать «лучшими» по уровню комфорта, качеству предоставляемых медицинских услуг и инфраструктуре — санаторий «Полтава-Крым» (г. Саки), санаторий «Победа» (г. Евпатория), санаторий «Курпаты» и санаторий «Жемчужина» в Гаспре (Большая Ялта), санаторий «Дюльбер» и санаторий «Мисхор» в Кореизе (Большая Ялта), санаторий «Южный» в Форосе (Большая Ялта) и другие [5].

В Крыму присутствует достаточно развитая, на наш взгляд, транспортная сеть. Симферопольский аэропорт отправляет регулярные и чартерные рейсы во многие страны мира — Турцию, Испанию, Германию, Израиль, а также регулярные рейсы, связывающие Крым с Москвой, Санкт-Петербургом и другими городами России. Железная дорога связывает полуостров Крым с территорией РФ через Керченскую паромную переправу. Быстроходные суда совершают рейсы между Одессой и Батуми, обслуживают крупные порты Крыма и Кавказского побережья. Для разгрузки Керченской паромной переправы строится мост через Керченский пролив. Планируется по-

строить два моста, которые свяжут остров Тузла с Керченским и Таманским полуостровом. Открыть техническое движение планируется в декабре 2018 года [6].

По нашему мнению, природно-географические и историко-культурные факторы территории составляют основной рекреационный потенциал Крыма. Это в первую очередь климатические ресурсы. Климат на Южном берегу Крыма субтропический — идеальные условия для отдыха и лечения. В центре Южного побережья 1775 солнечных часов, с апреля по октябрь, немного осадков и умеренная влажность. Купальный сезон (при температуре морской воды выше 20°C) длится 135 дней с середины июня до конца октября. В августе морская вода у берегов Ялты прогревается до 24–26°C. Это способствует большому количеству курортов и пляжей [4]. Во-вторых, на полуострове представлены различные формы рельефа, образованные эрозионными, карстовыми, гравитационными (обвалы, осыпи), оползневными процессами. Карстовых пещер и шахт в Крыму более 900, на их основе и получили развитие центры крымского спелиотуризма. Вода представляет человеку большие возможности для осуществления различных рекреационных занятий: плавание, рыбная ловля, походы на байдарках и т. д. Основным рекреационным природным ресурсом Крыма являются теплые воды Черного и Азовского морей.

Так же важными составляющими водных ресурсов Крыма являются озера, богатые органическими солями, минералами, микроэлементами, животворными бактериями и даже радиоактивными изотопами, причем именно в таких сочетаниях и концентрациях, которые необходимы человеческому организму при очень многих заболеваниях [3].

Особую привлекательность для туристов представляют местные пейзажи, которыми богата Главная гряда Крымских гор. Это великолепные панорамы: ущелья, водопады и причудливые формы, созданные выветриванием. Также эстетическим, оздоровительным и лечебным фактором являются знаменитые сады и парки Южного побережья. Более 2 тысяч гектаров занимают парки в Форосе, Меласе, Симеизе, Алушке, Мисхоре, Ореанде, Ливадии, Массандре, Гурзуфе. В тесной связи с климатотерапией в здравницах Южного берега издавна применяется один из древнейших методов лечения больных — ампелотерапия — применение винограда или виноградного сока с лечебной целью. В некоторых сортах винограда содержатся, кроме того, биологически активные вещества — фитонциды, убивающие или подавляющие рост и развитие бактерий. Среди сортов винограда, применяемых для виноградо-лечения, наиболее известными в Крыму являются Шасла, Семильон, Рислинг, Мускат александрийский [5].

Безусловно, определенный интерес для отдыхающих в Крыму представляют его исторические памятники: античные города Херсонес и Пантикапей, «пещерные города» Чуфут-Кале, Мангуп-Кале, Эски-Кармен и средневековые Ханский дворец в Бахчисарае, Солдайя (Судак), Кафа (Феодосия) и Чембала (Балаклава). В настоящее

время курортные регионы Крыма (курорты ЮБК и Сакско-Евпаторийского региона) по своему лечебно-оздоровительному потенциалу занимают одно из первых мест среди курортов Средиземноморско-Черноморского бассейна, таких, как Лазурный берег (Франция), Ривьера (Италия), Анталия (Турция).

Литература:

1. Крюкова, И. В. Растительный мир Крыма. / И. В. Крюкова, Л. А. Привалова, Ю. А. Лукс — Симферополь: Таврия, 1980. — 113 с.
2. Любов, М. С. Физическая география России: общая и региональная часть: учеб. пособие. — Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2015. — 183 с.
3. Олиферов, А. Н. Реки и озёра Крыма. / А. Н. Олиферов, З. В. Тимченко — Симферополь: Доля, 2005. — 216 с.
4. Республика Крым. Путеводитель. — М., Издательский дом СИМРН-Пресс Эдиториал УРСС, 2000. — 45 с.
5. Самые популярные курорты России, Абхазии и Крыма. Справочник. — М., Вече, 2004. — 98 с.
6. <http://adonis-crimea.com.ua/crimea/klimat-i-pogoda-v-krymu.html>

## ГЕОЛОГИЯ

### Поисковые предпосылки и признаки золотого оруденения месторождения Айтым (горы Букантау)

Хайдаров Зокир Хасанович, магистрант;

Рахимов Баходир Зубайдуллаевич, магистрант;

Авазов Рустам Рахатович, магистрант;

Мирусманов Мирвосит Агзамович, кандидат технических наук, научный руководитель  
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова (Узбекистан)

*В работе рассматривается краткое геологическое строение и структурные особенности рудолоколизации. Изучены поисковые признаки и предпосылки определяющие перспективность территорий на золото. Был детально изучены основные признаки: 1. Минералогическим (золото связано с кварцевыми жилами); 2. Генерация кварца; 3. Структурные (какие дизъюнктивные нарушения различных направлении являются рудоносными); 4. Зоны выщелачивания в сульфидизированных жилах; 5. Присутствие в кварцевых жилах арсенопирита, что является рудоносным признаком. Главными особенностями месторождения являются наиболее отчетливо проявленные связи золотого оруденения с разрывными структурами широтного и северо-восточного простирания.*

Распределение в земной коре месторождений полезных ископаемых является случайным процессом. Оно обусловлено историей геологического развития данной области. На основании изучения геологического строения и геологической истории района можно получить сведения о наличии полезных ископаемых и даже типах месторождений, которые наиболее вероятны для данного района. С этой точки зрения мы говорим о геологических предпосылках наличия на определенной площади полезных ископаемых, а выявление этих предпосылок является первой и, пожалуй, самой важной задачей геолого-съемочных работ.

Так, например, Западно-Айтымская рудоперспективная площадь расположена в Центральных Кызыл-кумах, в юго-западной части возвышенности Букантау, в пределах Аякашинской брахиантиклинали.

Экономически район считается освоенным. Ибо недалеко от площади работ расположены горнодобывающие предприятия.

В геоморфологическом отношении площадь работ представляет собой слабо всхолмленную равнину с абсолютными отметками 320–360 м.

Месторождение Айтым сложено породами коксайской свиты (V-Є<sub>1</sub>ks). Коксайская свита представлена переслаивающимися кварцево-серицитовыми сланцами и алеврититами с отдельными прослоями песчаников, глинистых, глинисто-сланцевых и углито-глинистых сланцев. Цвет сланцев и алеврититов зеленовато-серый, свет-

ло-серый, до темно-серого. Породы, в целом, тонко рассланцованы. Большей частью эти породы тонкослоистые. Их слоистость выражена чередованием прослоев мощностью до 1–2 мм, отличающихся более или менее темным цветом или крупностью зерен. Состоят они на 85–90% из кварца, полевых шпатов и серицита, реже тонкочешуйчатого светлоокрашенного биотита. Второстепенное значение имеют углистое вещество и гидроокислы железа. В некоторых разностях содержание полевых шпатов (плаггиоклазов) повышается до 20–30%.

Наиболее распространенные разности сланцев имеют алеврититовую структуру с перемежаемостью тонких прослоев, обогащенных слюдястым и пелитовым материалом, с прослоями, состоящими из мелкозернистого агрегата кварца и кислого плаггиоклаза. В этих и других сланцах содержатся более крупные (до 1 мм) обломки кварца и реже кислого плаггиоклаза. Изверженные породы характеризуются (в пределах участка) весьма малым распространением и представлены диоритами и диоритовыми порфиридами, реже лампрофирами. [1]

Естественная обнаженность участка весьма низкая. Простирание пород в его пределах в целом северо-восточное и близширотное. Падение крутое, южное (50–60%). Месторождение «Айтым» расположено в южном крыле крупной антиклинальной структуры. Породы участка сильно осложнены складчатостью высших порядков. Наблюдается перемежаемость участков по 100–

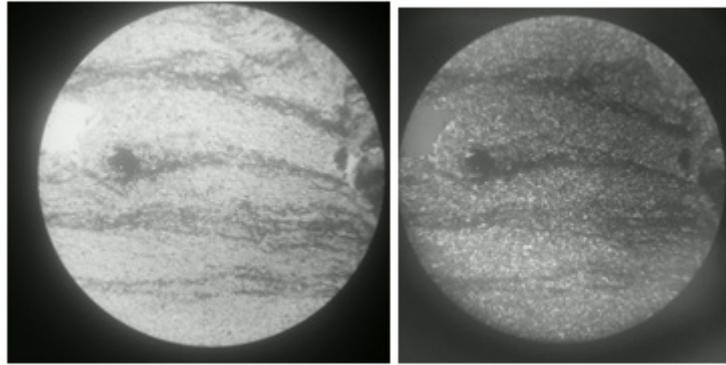


Рис. 1. Кварц-полевые-серицитовый сланец. Шлиф 3-А-37, увеличение 26х николи параллельны, николи скрещены

200м сравнительно спокойной складчатостью с участками интенсивного смятия, на которых наблюдается пережатые и опрокинутые складки, осложненные мелкой пльчатостью и разрывными дислокациями. В породах повсеместно имеет место развитие трещин кливажа. Обычно это тонкие трещины, секущие или совпадающие со слоистостью.

Дизъюнктивные нарушения характеризуются в пределах участка широким распространением и играют большую роль в его структуре. Наблюдается несколько систем нарушений:

1. Северо-восточные, сопровождающиеся интенсивным рассланцеванием, осветлением, дроблением и обохренностью.

2. Субширотные, сопровождающиеся участками с интенсивным дроблением, частично рассланцеванием, смятием, осветлением и обохренностью.

3. Северо-западные (редко), проявленные довольно четко и сопровождающиеся сильным рассланцеванием, дроблением, осветлением, обохренностью.

Наибольшим распространением на участке пользуются дизъюнктивные нарушения северо-восточного простирания, к которым приурочены все существующие рудные тела с золоторудной минерализацией. [1, 2]

На месторождении наблюдается большое количество кварцевых образований различной мощности, протяженности и морфологии. Золотоносность установлена пока только в немногих жилах и зонах окварцевания.

Попутно здесь можно выделить несколько типов кварцевых образований:

1. Мощные (0,5–4,0 м) и более тонкие кварцевые жилы с сульфидными минералами и видимым золотом, секущие слоистость.

2. Прожилки, жилы и линзовидные скопления кварца, ориентированные по слоистости пород.

3. Мощные зоны прожилкового окварцевания, секущие слоистость.

Поскольку золотоносность установлена на участках только в секущих кварцевых жилах и зонах окварцевания, они описываются ниже более подробно. На собственно Айтымском месторождении выявлено шесть минерализо-

ванных зон (зоны 1, 2, 3, 4, 5, 6). Наиболее богато минерализованной является зона 3.

В зонах встречается большое количество кварцевых жил мощностью от 2 см до 2,7 м. Жилы сложены белым и серовато-белым кристаллическим кварцем. Жилы короткие, при выклинивании разветвляются на целый ряд расходящихся прожилков. Сульфидная минерализация в жилах белого кварца практически отсутствует, встречаются лишь единичные кристаллы окисленного пирита или пустотки от его выщелачивания. В некоторых жилах белого кварца встречаются полевые шпаты, зачастую разрушенные и выщелоченные. По простиранию кварцевые жилы прослеживаются от 2м до 50м.

Кварцевые жилы характеризуются небольшим количеством сульфидов, которые представлены пиритом, халькопиритом, реже арсенопиритом, сфалеритом, галенитом, блеклыми рудами. Наибольшее скопление сульфидов отмечается висячем боку жил, к лежащему боку количество их резко уменьшается. [1, 2]

Пирит в кварцевых жилах распределен неравномерно, участки с повышенным его содержанием (50%) приурочены обычно к призальбандовым частям жил. В остальных частях жил пирит находится в виде редкой вкрапленности или отдельных небольших скоплений. Нередко в жилах встречаются участки, практически лишенные пирита.

Чаще всего пирит встречается в виде хорошо ограниченных кристаллов кубического и реже пентагондокаэдрического габитуса. Размеры кристаллов колеблются от десятых долей мм до 1см. Реже пирит образует небольшие (до 5 см) скопления или прожилковидные выделения относительно крупных зерен, сильно раздробленных и сцементированных кварцем. Иногда в зернах пирита встречаются мельчайшие (изометричной формы) выделения различных сульфидов, чаще всего в виде блеклой руды и халькопирита, реже пирротина и арсенопирита.

Сфалерит в жилах встречается крайне редко, но образует довольно крупные (до 2см) кристаллы и сростки. Цвет его темно-бурый. Развит сфалерит вблизи выделений пирита, но очень редко в непосредственном сростании с последним. В таких случаях видно, что сфалерит выделяется

позже пирита, так как замещает его по тончайшим трещинкам.

Золото в кварцевых жилах тесно ассоциирует с пиритом.

Наличие в последнем тонкодисперсного золота устанавливается на основании сопоставления высокого его содержания в пирите, с почти полным отсутствием видимых выделений золота. Наличие тонкодисперсного золота в пирите подтверждается относительно большим количеством вторичного переотложенного золота в окисленных рудах, так как тонкодисперсное золото лучше подвергается растворению и переотложению в зоне окисления.

В пирите, помимо тонкодисперсного, встречаются и более крупные выделения золота. Это золото является, очевидно, более поздним образованием по сравнению с тонкодисперсным.

Поисковые работы были начаты без наличия особых поисковых признаков на золото, не принимая во внимание обильную насыщенность песчано-сланцевой пачки кварцевыми жилами и прожилками.

Наиболее высокий эффект при поисках дают прямые поисковые признаки нахождения полезного ископаемого или наличием парагенетически связанных с ними определенных минералов. [3, 4]

Следует отметить, что золото-кварцевый тип оруденения является для района новым. Естественно, сведения о поисковых критериях и признаках на золото весьма незначительны и ограничены. Можно выделить несколько общих поисковых предпосылок и признаков требующих дальнейшей доработки:

1. Золоторудная минерализация связана с кварцевыми жилами и зонами окварцевания имеющими очень широкое распространение на площади работ.

2. По характеру минерализации, внешнему облику и структуре кварца можно выделить несколько типов кварцевых жил.

Возрастные взаимоотношения кварцевых образований, закономерность их распространения и степень золотосодержания изучены пока в недостаточной степени. Можно лишь отметить, что подавляющее большинство известных кварцевых жил с видимым золотом сложено серым и светло-серым неравномерно зернистым и крупнокристаллическим кварцем с сульфидной минерализацией.

3. Наличие кварцевых жил с обилием пустот от выщелоченных кристаллов пирита, нередко с видимым золотом. При проведении поисковых работ в Айтым-Джужкудукской полосе большое внимание обращалось на поиски среди большого количества кварцевых свалов специфического «Айтымского» кварца, характеризующегося обилием пустот выщелачивания по пириту. Данный кварц, кроме пустот, содержит частую вкрапленность окисленного и полуокисленного пирита. В результате картирования и опробования свалов подобного кварца выявлена зона 7.

4. Дизъюнктивные нарушения различных направлений пользуются в пределах площади работ широким распространением.

Разрывные нарушения довольно часто сопровождаются кварцевыми жилами и зонами окварцевания. Признаки золоторудной минерализации в тех или иных количествах установлены в кварцевых жилах и зонах окварцевания различных направлений. Наибольшим распространением на площади пользуются кварцевые жилы и зоны окварцевания широтного и субширотного простираний, которые к настоящему времени еще недостаточно изучены. Наибольший практический интерес представляют кварцевые жилы и зоны окварцевания северо-восточного направления. Почти все рудные тела, выявленные к настоящему времени на площади, приурочены к тектоническим нарушениям северо-восточного простирания.

5. Кварцевые жилы и прожилки на площади группируются в отдельные пучки (жилые зоны) приуроченные к ослабленным зонам и характеризуются наибольшей насыщенностью жилами. В интервалах между пучками обычно встречаются единичные жилы или прожилки. Наибольший интерес представляют жилы и жилые зоны с признаками сульфидной минерализации, обычно выщелоченной с поверхности.

6. Минералогические признаки является прямыми указаниями на наличие золотого оруденения. Для оруденения кварцево-жильного типа к таким признакам относится, прежде всего, присутствие кварца. Общее распространение кварца, обилие его свалов является благоприятной предпосылкой для поисков. Выделение специфического рудоносного кварца более затруднительно, так как золотое оруденение может накладываться на различные по внешнему виду кварцы. Малоинтересными являются жилы кварца в кремнистых породах, которые местами дают обильные свалы. Для оруденения сульфидно-вкрапленного типа прямым поисковым признаком является обожренность пород за счет окисления развитых в них сульфидов.

7. Из минералов-спутников золота, в первую очередь, должен быть назван арсенопирит, получивший широкое распространение в кварцевых жилах и зонах минерализации участка «Чолчаратау». Здесь в кварцевых жилах с повышенными содержаниями золота отмечаются высокие концентрации мышьяка (десятые доли %).

Все перечисленные поисковые признаки сыграли ту или иную роль в выявлении существующих к настоящему времени кварцевых жил и минерализованных зон окварцевания с повышенными концентрациями золота. [2, 3]

Следует отметить, что на рассматриваемом объекте четко выраженного контроля размещения оруденения и пликвативными структурами не наблюдается. Оруденение является более поздним, чем формирование главных складчатых структур района и может накладываться на различные их элементы.

Вместе с тем намечается определенная тенденция тяготения оруденения к антиклиналям, что вообще характерно для гидротермальных месторождений и легко объяснимо более благоприятной структурной обстановкой для проникновения гидротерм в антиклиналях.

Наиболее отчетливо проявлены связи золотого оруденения с разрывными структурами широтного и северо-восточного простирания. Отметим только то обстоятельство, что при исключительно четкой зависимости золотонности от дизъюнктивов указанных направлений в локальном плане, она практически не наблюдается в региональном плане.

Прямой и четкой зависимости размещения проявлений золотонности от степени и характера метаморфизма пород не наблюдается, так как для района является характерным отсутствие протяженных и четко проявленных зон метасоматических изменений. [3–4]

**Заключение.** Выделенные поисковые предпосылки можно использовать при поисках новых проявлений и рудных тел на территории вокруг месторождения Айтым.

#### Литература:

1. Абдуазимова, З. М., Миркамоллов Р. Х. и др. «Изучения руданосности древних толщ западного Узбекистана». Ташкент. — 2012 г.
2. Исаходжаев, Б. А., Тангиров А. И., Урунов Б. Н. Бузтау-Кокпатас-Окжетпесский тренд // Геология и минеральные ресурсы. № 3, 2015 г.
3. Хамрабаев, И. Х. Магматизм и постмагматические процессы западного Узбекистана Ташкент: фон, 2013й.
4. Зонов, В. И., Котумов А. Я. Геологические строения и полезные ископаемые гор Букантау. (2013–2014 гг.).

## ЭКОЛОГИЯ

### О влиянии выбросов алюминиевого завода на содержание фторидов в почве с учетом некоторых климатических факторов

Васильева Татьяна Владимировна, аспирант;  
Научный руководитель: Демиденко Галина Александровна, доктор биологических наук, профессор  
Красноярский государственный аграрный университет

*В Красноярске лидирующим предприятием по объему промышленных выбросов является алюминиевый завод. Алюминий производится при помощи фтористого водорода, что неизбежно влечет за собой массовые выбросы фторидных соединений в атмосферу и дальнейшее их попадание в почву, растения, воду. Фтор — сильный токсичный элемент, который действует разрушающе практически на всё живое. Постоянный мониторинг прилегающей территории на содержание фторидов в почве становится необходимостью. Отбор проб производился с поверхностного слоя почвы при постепенном удалении от предприятия на северо-восток. Для определения концентрации фторид-иона применяется потенциометрический метод с фторселективным электродом. Результаты анализа показали превышение предельно-допустимой концентрации водорастворимого фтора в 14–16 раз на удалении до 1 км от предприятия, в 4–5 раз в пределах 2–10 км, и незначительно превышает допустимую концентрацию в пределах 20 км.*

*В данном исследовании важную роль играет стабильность направления ветра, т. к. промышленные выбросы предприятия попадают сначала в атмосферу, а затем в почву прилегающей территории. Произведен анализ изменения направления ветра за период 2009–2016 гг. Прослеживается резкое изменение установленной розы ветров для данной территории, а именно увеличение количества дней восточного ветра в 2016 году.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, фториды, потенциометрический метод, алюминиевый завод, почва, направление ветра

### About influence of emissions of the aluminium plant on the content of fluorides in the soil taking into account some climatic factors

Vasilyeva T. V., Demidenko G. A.  
Krasnoyarsk state agricultural university

*In the city of Krasnoyarsk the leading enterprise on volume basis of the production emissions is the aluminum plant. Aluminum is produced by means of fluorine hydride that inevitably involves mass emissions of fluoride connections in the atmosphere and their further hit in the soil, plants, water. Fluorine — the strong toxiferous element which affects destructively practically all alive. Continuous monitoring of the adjacent territory on the content of fluorides in the soil becomes a necessity. Sample drawing was made from the surface layer of the soil during gradual removal from the enterprise on the northeast. Fluoride ion is applied a potentiometric method with a fforselektivny electrode to concentration definition. Results of the analysis showed excess of maximum-permissible concentration of water-soluble fluorine by 14–16 times on removal to 1 km from the enterprise, by 4–5 times within 2–10 km, and slightly exceeds admissible concentration within 20 km.*

*In this research an important role is played by stability of the direction of wind since the production emissions of the enterprise get at first to the atmosphere, and then to the soil of the adjacent territory. The analysis of a veering of wind*

during 2009–2016 is made. Jump of the established wind rose for this territory, namely increase in number of days of east wind in 2016 is traced.

**Keywords:** environmental monitoring, fluorides, potentiometric method, aluminum plant, soil, direction of wind

**Введение.** Среди городов Красноярского края по выбросам за счет технологических и других процессов лидирует г. Красноярск. На территории г. Красноярска уже более пяти десятилетий функционирует крупное промышленное предприятие — Красноярский алюминиевый завод (Красноярск РУСАЛ). Согласно официальным данным за 2015 год объем выбросов этого предприятия составил 60,5 тыс. т. [6].

Как известно, для получения алюминия используется метод электролиза, где требуются его галоидные соединения и прежде всего криолит, содержащий алюминий и фтор. Бокситы, богатые алюминием, растворяют в криолите, который, в связи с нехваткой природного материала, искусственно получают при помощи фтористого водорода. Основным вредными факторами алюминиевого производства являются фтор, его соли и фтористый водород. Фтористый водород — очень агрессивный и опасный реагент, однако в настоящее время ему нет замены во многих отраслях современной индустрии [3].

Опасность фтористого водорода была известна еще Г. Дэви (1778–1829 гг.): «...Жидкая фтористоводородная кислота немедленно разрушала стекло и все животные и растительные вещества. Она действует на все тела, содержащие окиси металлов. Я не знаю ни одного вещества, которое бы не растворялось в ней...» [3]. Фтор обладает необычайной реакционной способностью и образует соединения почти со всеми элементами, удержать фтор от реакции очень трудно.

Место для строительства столь опасного для окружающей среды и здоровья людей предприятия определялось исходя из розы ветров. Еще в прошлом веке было установлено, что преобладающий ветер для данной территории является юго-западный, и чуть реже западный. Поэтому предприятие географически вынесли за жилые районы в северо-восточном направлении, чтобы промышленные выбросы предприятия, попадающие в атмосферу, относил в сторону от городских районов. Соответственно мониторинг по количеству загрязняющих веществ ведется в северо-восточном направлении от предприятия. Однако проведенный анализ стабильности направления ветра по количеству дней в году показал, что в 2016 году участился восточный ветер и штиль, что отразилось на количестве водорастворимого фтора в поверхностном слое почвы.

**Объекты и методы.** Выбросы в атмосферу, содержащие фторидные соединения, прямо влияют на экологическую обстановку прилегающей территории. Из атмосферы фтор попадает в почву. Всё это обуславливает необходимость постоянного контроля за загрязнением окружающей среды фтором и его соединениями и в первую очередь — выявление загрязненных территорий.

Существуют критерии для оценки степени загрязнения почвенного покрова водорастворимым фтором:

- < 10 мг/кг — допустимое содержание;
- 10–30 мг/кг — критическое содержание;
- > 30 мг/кг — недопустимое.

Установлено, что фоновое содержание водорастворимого фтора в условиях Красноярского края составляет 1,5 мг/кг почвы [1].

Исследуемый источник загрязнения расположен в северо-восточной части г. Красноярска. Согласно устоявшейся розе ветров для данной территории, основная масса выбросов в атмосферу относится юго-западным ветром далее на восток и северо-восток [1]. Поэтому для мониторинга выбраны пункты отбора проб (Рис. 1), постепенно удаляющиеся на северо-восток от предприятия (100 м, 500 м., 2 км, 5 км, 10 км, 20 км).

Отбор почвенных образцов производился интегрально в трехкратной повторности с поверхности почвы, т. к. известно, что в непахотных почвах фтор в основном концентрируется на самой поверхности почвы [1]. Тип почв характеризуется как чернозем, со слабой щелочной реакцией.

Наиболее простым и экспрессивным методом определения фтора в водной вытяжке из почвенных образцов является потенциометрический метод с применением ионоселективного электрода. Сущность метода заключается в измерении потенциала электродной системы, состоящей из измерительного фторселективного электрода, чувствительного к ионам фтора, и вспомогательного хлор-серебряного электрода. Величина электродного потенциала зависит от содержания ионов фтора в анализируемом растворе на фоне ацетатно-цитратного буферного раствора. Ионы  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$  оказывают мешающее действие на определение фторид-ионов, т. к. связывают ионы фтора в комплексные соединения. Поэтому в состав буфера для создания общей ионной силы добавлен цитрат натрия (Трилон Б), который вытесняет фторид-ионы из комплексов с металлами. Водная вытяжка приготовлена согласно методике [4,5].

Для определения фторид-ионов используется высокоомный рН-метр типа рН-340. Прибор показывает результат в мг/л раствора, который далее преобразуется в моль/л методом деления на атомарную массу элемента. Этот показатель используется для расчета содержания водорастворимых фторидов в почве по формуле:

$$X = \frac{C_F * V * A}{B} \quad (\text{мг/кг}), \text{ где}$$

$C_F$  — концентрация фторид-ионов в водной вытяжке, моль/л;

$V$  — объем воды, использованный для приготовления водной вытяжки, мл;

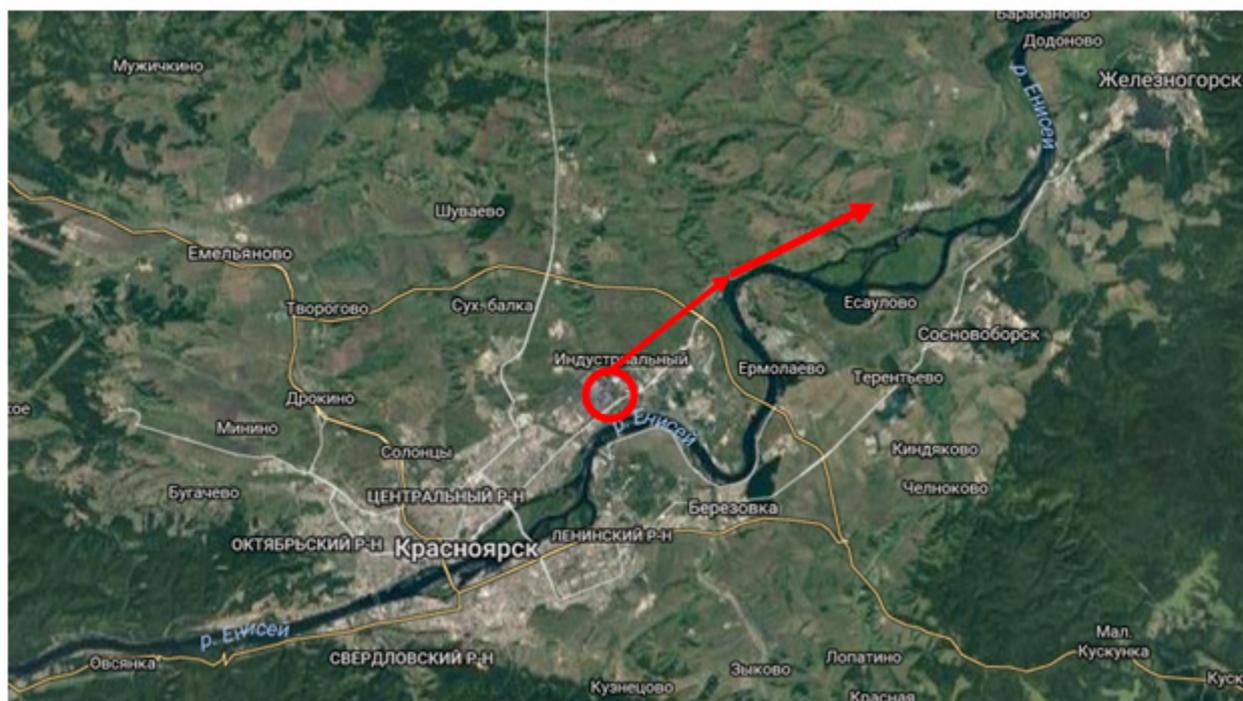


Рис. 1. Карта города Красноярска с указанием направления исследования

A — атомная масса фторид-иона, г/моль;

B — навеска почвы, г.

Анализ стабильности направления ветра проводился с помощью данных Gismeteo. Взяты данные за период с 2009 года по 2016 год включительно. Учитывалось количество дней в году каждого направления ветра, а также штиль.

**Результаты.** По полученным результатам (рис. 2) установлено, что основная масса водорастворимого фтора в северо-восточном направлении оседает в пределах до

1 км (138,2–152,6 мг/кг), на расстоянии до 10 км концентрация фторид-иона еще заходит за критическую отметку (35,9–48,3 мг/кг), а на расстоянии 20 км немного превышает допустимое значение (16,5 мг/кг), тогда как в ранних исследованиях территория, загрязненная фтором, протягивалась до 30–40 км и более в том же направлении [1]. Это может указывать как на принятые предприятием меры по уменьшению количества выбросов в атмосферу за последнее десятилетие, так и на метеорологические факторы.

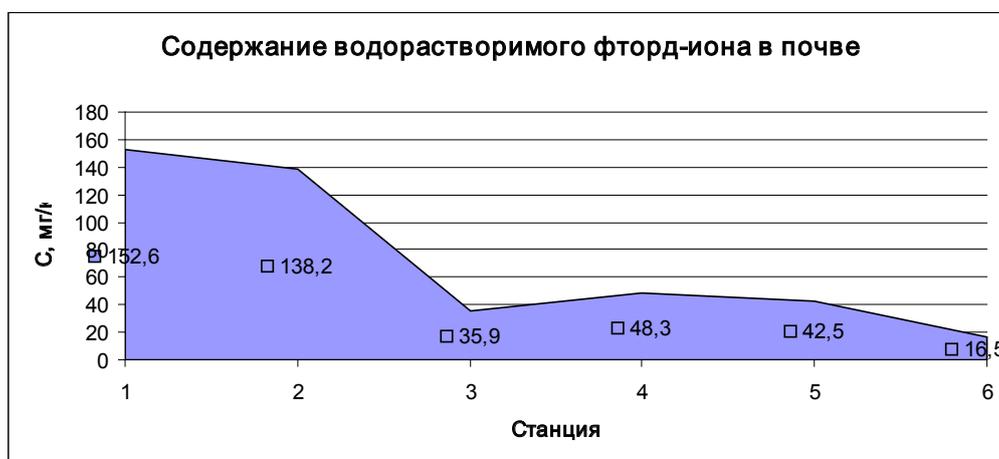


Рис. 2 Концентрация водорастворимого фтора в почве, мг/кг

По официальным данным метеорологической службы в 2016 году участился штиль и восточный ветер, что тоже может послужить причиной уменьшения протяженности загрязнения в исследуемом направлении. Анализ данных за

период 2009–2016 гг. показал, что в 2016 году количество дней восточного ветра в год удвоилось, что составило 63 дня. В 2009–2015 гг. это значение не превышало 35 дней. Также наблюдается участвовавший штиль. За период 2009–2015 гг.

среднее значение не превышает 45 дней в год. Тогда как в 2016 году ветер отсутствовал 65 дней (рис. 3–5). Такие погодные условия напрямую влияют на распространение промышленных выбросов по прилегающей территории.



Рис. 3. Преобладающее направление ветра в 2009 году.

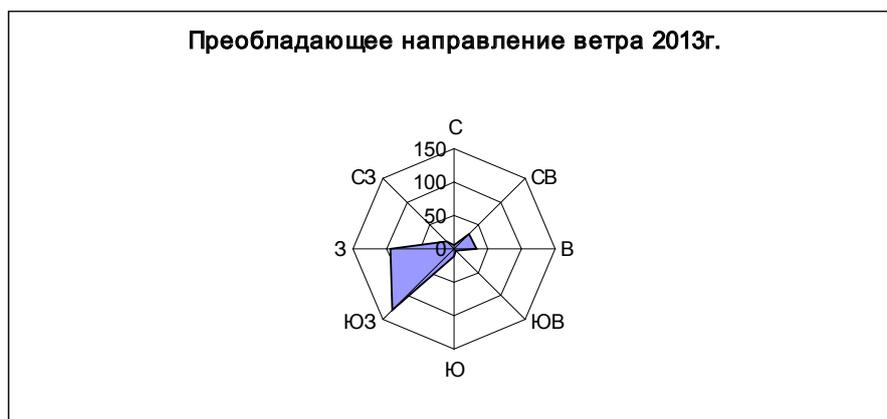


Рис. 4. Преобладающее направление ветра в 2013 году.

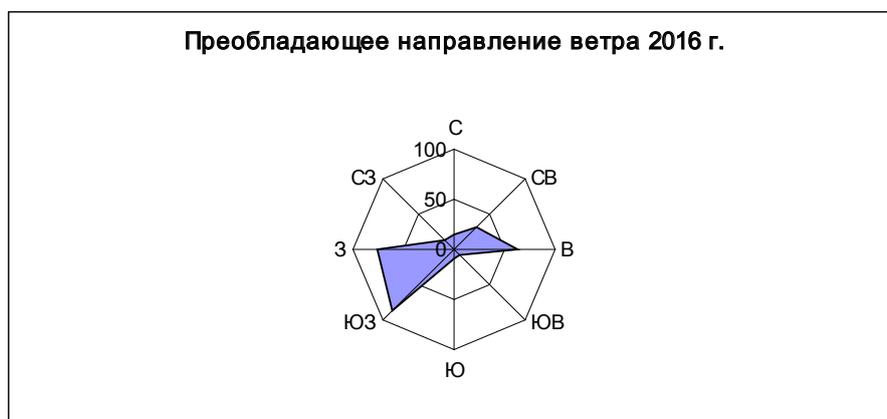


Рис. 5. Преобладающее направление ветра в 2016 году.

**Заключение.** Анализ количества водорастворимого фтора в почве показал, что в пределах до 1 км от источника загрязнения значение концентрации фторид-иона

превышает ПДК в 15 раз. На расстоянии до 10 км показатель превосходит критическую отметку (35,9–48,3 мг/кг). На расстоянии 20 км показания концентрации водо-

растворимого фтора незначительно превышают ПДК (16 мг/кг).

При анализе показаний направления ветра отмечается увеличение количества дней в год восточного ветра

и штиля в 2016 году. За период 2009–2016 гг. преобладающим ветром остается юго-западный, и реже западный.

Литература:

1. Танделов, Ю. П. Загрязнение почв и растительного покрова фтором в Красноярском крае // Сборник статей под ред. П. С. Бугакова — Красноярск, 1996. — 5 с.
2. Физико-химические методы мониторинга окружающей среды. Часть 2 // Учебно-методическое пособие — Казань, 2000. — 6 с.
3. Популярная библиотека химических элементов // Издательство «Наука». Электронная версия — 2002.
4. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве // СанПиН 42–128–4433–87.
5. Кропачева, Т. Н. Электрохимические методы анализа // Учебно-методическое пособие для лабораторных работ — Ижевск, 2016—14 с.
6. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Красноярского края — Красноярск, 2015—176 с.

## Экологическая ситуация начала XXI века на территории городского округа Арзамас

Любов Михаил Сергеевич, кандидат педагогических наук, доцент;  
Мельничук Анастасия Андреевна, студент;  
Маюрова Юлия Алексеевна, студент

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Арзамасский филиал

*В статье рассматривается экологическая ситуация г. Арзамаса и Арзамасского района. Выявляются основные современные экологические проблемы и анализируется состояние окружающей среды и природного комплекса городского округа Арзамаса.*

**Ключевые слова:** Арзамас, экологические проблемы, загрязнение окружающей среды

В современном динамично развивающемся мире экологические проблемы стали одними из острейших проблем человеческой цивилизации XXI века. Арзамасский регион является не исключением. Проведенный нами анализ экологического состояния города Арзамаса и его района за 2001–2016 годы позволяет утверждать, что общая экологическая ситуация по сравнению с прошлым веком претерпела заметные изменения негативного характера.

Арзамасский район расположен почти в центре Правобережья Нижегородской области, в средней полосе европейской части России. Климат региона умеренно-континентальный, рельеф холмисто-возвышенный, с развитым эрозионным расчленением, ландшафты преобладают антропогенные, лесистость составляет всего 35%, почвы дерново-подзолистые и серые лесные, по левобережью р. Теши — оподзоленные чернозёмы [2].

Арзамасский район, в том числе и город, является одним из наиболее развитых районов области. По итогам социально-экономического развития за 2015 год городской округ город Арзамас вошёл в группу районов с вы-

соким уровнем развития и занял 8 место среди 52 муниципальных районов и городских округов Нижегородской области. В настоящее время Арзамас — крупный промышленный центр Нижегородского Правобережья, с относительно высокой плотностью населения, мощной индустрией и хорошо развитой транспортной инфраструктурой. Рост социально-экономического потенциала Арзамаса заметно обострил экологическую ситуацию в регионе.

Загрязнение атмосферы стало составной частью всей современной жизни города. В условиях Арзамаса загрязнение атмосферного воздуха обусловлено наличием большого количества источников нагретых и холодных выбросов. Это, в первую очередь, предприятия, автотранспорт, котельные. Значительное количество специфических вредных веществ выбрасывают в атмосферу: ОАО «Арзамасский приборостроительный завод», ОАО «Рикор-электроникс», ОАО «Арзамасский машиностроительный завод», ОАО «Коммаш», ОАО Арзамасский завод «ЖБК», ОАО «Арзамасский завод минплит» [2;5]. Это основные загрязнители города и его воздушного пространства, не считая теплоэлектрических, топливно-э-

нергетических предприятий и объектов (котельные, асфальтные заводы, нефтебаза и другие). В г. Арзамасе состоят на учёте как загрязнители воздушной среды более 100 предприятий промышленности и строительства, автотранспортных и железнодорожных предприятий и цехов, организаций лёгкой и пищевой промышленности, котельных и теплоэнергетических объектов. В то же время у нас нет предприятий первого класса опасности, также отсутствуют химические производства, а зональное расположение промышленности уменьшает негативное воздействие на окружающую природную среду и жилую застройку.

На всех крупных промышленных предприятиях силами специалистов заводских лабораторий осуществляется контроль за вредными выбросами в атмосферу и водные объекты. Контроль над загрязнением атмосферного воздуха, а также влиянием физических факторов на жилую застройку в пределах санитарно-защитных зон осуществляет центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора города Арзамаса и Арзамасского района. Помогают «оздоравливать» воздушную среду на улицах зеленые насаждения: парк культуры и отдыха, дендрарий, зеленая зона в окрестностях города, многочисленные скверы, аллеи, газоны, цветники и т. п.

С 2007 года в городе функционирует центр комплексного мониторинга окружающей среды, где проводятся регулярные наблюдения за состоянием атмосферного воздуха, водоёмов и уровнем радиации. На территории города на двух стационарных постах ведут мониторинговые наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха специалисты Центра мониторинга окружающей среды ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» в рамках муниципального контракта. Посты относятся к категории «городские фоновые», расположены в жилом массиве. За период 2011–2015 гг. отмечается тенденция к росту уровня загрязнения воздуха диоксидом азота, фенолом, сероводородом, формальдегидом [1].

В настоящее время большой вред окружающей среде и живым организмам наносит автотранспорт. На 2015 год в городе было зарегистрировано более 37 тысяч транспортных средств. С выхлопными газами в атмосферу попадает диоксид и оксид углерода, оксиды азота и десятки других веществ, среди которых особенно опасны для здоровья соединения тетраэтила, свинца, бензапирена — веществ, относящихся к группе канцерогенов. В связи с этим решается вопрос по переводу всего муниципального транспорта с бензина на газ. Транспорт загрязняется не только атмосферный воздух, но и почва, особенно вблизи магистралей и автостоянок. Транспорт является также источником шумового воздействия на живые организмы. В последнее время в городе проводится ряд специальных мероприятий, направленных на охрану окружающей среды. В частности, осуществляется усовершенствование технологии производства, строительство транспортных развязок объездных дорог, переход с твёрдого и жидкого видов топлива на газ и т. д.

Состояние рек в Арзамасском районе в связи с их обмелением, загрязнением и засорением продолжает вызывать большую тревогу. Обмеление рек приводит к цепной реакции отрицательных экологических последствий: снижению обводнённости территории, продуктивности экосистем, их способности к самоочищению, обеднению флоры и фауны. Многие малые реки потеряли рыбохозяйственное значение. Обмеление рек происходит вследствие как естественных, так и антропогенных факторов, причём последние стали играть ведущую роль. Сброс в малые реки больших объёмов бытовых и промышленных сточных вод, дренажных вод, стоков с животноводческих комплексов и ферм, поступление в реки смываемых с полей удобрений активизируют и вызывают «цветение» (массовое развитие сине-зелёных водорослей), дефицит кислорода, резкое ухудшение качества воды, снижение способности рек к самоочищению. В данный период в городе имеется полная раздельная система канализации. Хозяйственно-бытовые стоки и промстоки после локальной очистки поступают на общегородские канализационные очистные сооружения. В состав очистных сооружений входят сооружения механической и биологической очистки, доочистка производится в биологических прудах. Выпуск очищенных стоков в Тёшу осуществляется ниже города по течению реки. Наблюдения за состоянием водных объектов на территории г. Арзамаса проводится на р. Теша в 2-х створах гидрохимических наблюдений: 1 створ — в черте г. Арзамаса, 1 км выше впадения р. Шамки; 2 створ — 0,5 км ниже западной оконечности г. Арзамаса. За последний период существенных изменений качества воды не наблюдалось. Тем не менее вода в Теше в пределах исследуемого региона отнесена к разряду «загрязнённых» и содержит большое количество загрязняющих химических веществ [1].

Не менее актуальными в последнее время становятся охрана почв и ведение мониторинга земель города и района. По ряду причин, вызванных деятельностью человека, ежегодно происходит сокращение сельхозугодий. За последнее время только для промышленного строительства было отведено более 500 га земель, из них 140 га пашни. В рамках мониторинга ежегодно выполняются работы по агрохимическому и радиологическому обследованию земель. В процессе агрохимических обследований отбираются почвенные образцы и определяется содержание в почве гумуса, подвижного фосфора, обменного калия, азота, а также кислотность почв. Выполняются работы по изучению влияния сельскохозяйственной деятельности человека и применяемых средств химизации на совокупность свойств почв и урожай сельскохозяйственных культур. Результаты наблюдений показывают, что резкого изменения почвенного плодородия в XXI веке не происходит. Контроль за остаточным количеством пестицидов в почве и растениеводческой продукции не выявил загрязнения почв. В то же время анализ наблюдений показывает, что в использовании земель ситуация в лучшую сторону не меняется. Недостаток внимания природоохранным и ре-

сурсосберегающим технологиям сельскохозяйственного производства способствует развитию процесса деградации земель [1;4].

Экология города Арзамаса в целом вызывает серьёзные опасения. С расширением городской застройки и ростом промышленности происходит изменение микроклиматических условий. Город становится очагом тепла. Температура воздуха в Арзамасе в среднем на 1–2 градуса выше, чем в его окрестностях. Температурные различия особенно заметны зимой при антициклональном состоянии атмосферы. Многоэтажная застройка нарушает циркуляцию воздуха, затрудняет воздухообмен. Скорость ветра в городе всегда значительно ниже, чем за его пределами. Микроклимат города отличается и несколько большим количеством осадков, что связано, главным образом, с наличием в воздухе твёрдых примесей и пыли, которые становятся своего рода ядрами конденсации водяных паров [2].

Важной составляющей экологии города являются зелёные насаждения, площадь которых насчитывает более 300 га. По действующим нормам в стране на каждого человека должно приходиться 18 м<sup>2</sup> зелёных насаждений. В Арзамасе этот показатель составляет 30 м<sup>2</sup>. Растения служат своеобразным фильтром для загрязняющих веществ, особенно аэрозолей, очищают воздух, улучшают микроклимат города, уменьшают сток осадков, снижают шумовое воздействие, украшают ландшафт, являются средой обитания для многих видов птиц. Зелёные насаждения, особенно лесопарки и дендрарии, занимают существенное место в структуре любого города. Независимо от их местоположения в городе, они находятся на экологическом стыке между городским и природным ландшафтом, обеспечивая взаимопроникновение и взаимо-

действие фаун. Одними из наиболее ярких представителей городской фауны являются птицы, численность которых в целом снижается. Следует отметить общее снижение численности некоторых певчих птиц (овсянка, жаворонок и др.) и заметное резкое сокращение гнездований скворцов в городской черте (теперь их можно встретить только на берегах р. Тёши). Вместе с тем, за последние 10 лет существенно больше стало гнездиться в городе галок, ворон, сорок, голубей, воробьёв.

Особую экологическую проблему в городе и других населённых пунктах составляют ликвидация бытовых отходов и санитарная очистка территории. Несмотря на то, что Арзамас входит в число наиболее чистых и благоустроенных городов области, общая экологическая ситуация в городе оставляет желать лучшего. Нередко, особенно на окраинах города, на пустырях, вдоль берегов рек Тёши и Шамки, возникают многочисленные несанкционированные свалки, а контейнерные площадки нередко «утопают» в мусоре. Санитарная очистка в городе и вывоз бытовых отходов осуществляется ООО «АрзамасКомТранс» регулярно, включая выходные дни. В городе для сбора мусора установлено более 500 евроконтейнеров. Твёрдые бытовые отходы от жилого сектора и отходы от производства размещаются на существующей свалке ТБО, находящейся в 13 км от г. Арзамаса, на территории Кирилловского лесничества, она занимает площадь более 6,3 га.

Проанализированные нами экологические проблемы Арзамасского региона характерны и для всех городских округов Нижегородской области [см. об этом: 3], они носят глобальный характер и требуют серьёзного совместного решения не только в пределах области, но и в масштабах всей России.

#### Литература:

1. Доклад «Арзамас. Экологическая обстановка — 2015» Администрация г. Арзамаса. Сектор по экологии и охране природы. — Арзамас, 2016. — 60 с.
2. Любов, М. С. География Арзамасского края. Учебное пособие. — Арзамас: АГПИ, 2007. — 186 с.
3. Любов, М. С., Любова Е. Ю. Нижегородское краеведение: учебное пособие. — Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2016. — 109 с.
4. Отчёт комитета по экологии и охране природы. Экологическая ситуация города Арзамаса за 2002 год. — Арзамас, 2003. — 75 с.
5. Состояние окружающей среды и природных ресурсов Нижегородской области: Доклад Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области. — Нижний Новгород, 2015. — 311 с.

## Природные условия Керженского заповедника Нижегородской области

Маюрова Юлия Алексеевна, студент;

Мельничук Анастасия Андреевна, студент

Арзамасский филиал Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского

*В данной статье рассматривается Керженский заповедник, как один из объектов особо охраняемых природных территорий Нижегородского Заволжья. Анализируются природные условия и ресурсы заповедника.*

**Ключевые слова:** Керженский заповедник, Семёновский край (округ), особо охраняемые природные территории

Нами в 2015–2016 годах было организовано несколько научно-исследовательских экскурсий на территорию Керженского заповедника с целью более глубокого изучения природных условий и ресурсов, а также с целью привлечения внимания широких кругов общественности к проблемам охраны природы своего края. Заповедник находится в Нижегородском Заволжье на территории Семеновского района (Городского округа Семеновский) в бассейне реки Керженец. Городской округ Семеновский расположен почти в центре Заволжья Нижегородской области. Административный центр — город Семёнов. Семёновский округ находится в левобережной части области в бассейне реки Керженец и граничит на востоке с Воскресенским и Краснобаковским, на северо-востоке с Варнавинским, на северо-западе с Ковернинским, на юге и юго-западе с Борским районами Нижегородской области. Его протяжённость с севера на юг достигает 95 километров, с запада на восток около 65 километров [6].

Заповедник находится в левобережной части Нижегородской области, на Семеновском плато. В формировании рельефа большая роль принадлежит деятельности ледника. Особенно хорошо заметны следы максимального Днепровского ледника, который оставил здесь моренные отложения в виде суглинков и глинистых песков с валунами. Хорошо сохранились сглаженные формы слабовсхолмленного, почти плоского рельефа. Значительная часть Семеновского округа была подвержена деятельности водных потоков тающего Валдайского ледника, который до пределов нашей области не доходил. Так сформировались песчаные поля — зандры, представляющие собой слабовсхолмленные равнины, часто вытянутые и собранные в цепочки. Кроме того, флювиогляциальные потоки оказали существенное влияние на образование долин современных рек Семеновского района, склоны которого имеют значительную пологость. В целом рельеф в заповеднике, как и во всем Семеновском районе более равнинный, чем рельеф Правобережья Нижегородской области. Здесь преобладают плоские равнины, расчлененные сетью речных долин, имеют место небольшие поднятия, абсолютные отметки в этом районе составляют от 100–120 м до 160–180 м. Характерной чертой рельефа округа являются надпойменные террасы рек Волги и Керженца, сформировавшиеся в ледниковое время. В долинах крупных рек образовались 4 надпойменные тер-

расы, представляющие собой ступенчатый рельеф, уступами понижающийся к рекам. Немаловажную роль в разнообразии рельефа Семеновского округа играют и пойменные речные террасы. Их формирование является результатом эрозионных процессов [2].

Климат нашего региона умеренно континентальный со снежной холодной зимой и влажным нежарким летом. Средняя температура воздуха в январе —  $-12,9$  °С, в июле —  $+18,4$  °С. Абсолютный минимум — ( $-46$  °С), абсолютный максимум — ( $+39$  °С) [5]. В среднем за год выпадает 550–600 миллиметров осадков. В условиях прохладного и не жаркого лета, когда потери влаги на испарение невелики, может наблюдаться избыточное увлажнение. Зимой циклоны над европейской частью страны чаще всего перемещаются с запада на восток и движутся двумя путями: либо через Скандинавию по европейскому северу, либо по средней полосе России между  $60^{\circ}$  и  $50^{\circ}$  ш. В первом случае в Семеновском округе устанавливаются затяжные оттепели, туманы и гололедные явления. Во втором — в тыловую часть циклонов затекает арктический воздух, вызывая похолодания со снегом и метелями. В течение года осадки на территории области выпадают неравномерно. В холодный период, с ноября по март, осадки выпадают преимущественно твердые (снег, снежная и ледяная крупа, изморозь), в теплый период преобладают жидкие (дождь, морось). Для переходных сезонов характерны смешанные осадки (снег с дождем, мокрый снег). В холодный период выпадает около 30–35% осадков, т. к. холодный воздух содержит мало влаги, большая часть осадков (65–70%) приходится на теплый период. В среднем наибольшее количество осадков (70–80 мм) приходится на июль, а наименьшее (20–25 мм) на март. За год с осадками наблюдается более 180 дней, причем в холодный период преобладают обложные и морозящие осадки, а в теплый — ливневые. В теплое время года возможно выпадение осадков в виде града, а также возникновение гроз. Зимние грозы — исключительно редкое явление для Семеновского района и всей области. В целом, климат городского округа Семеновский является умеренно-континентальным с достаточно теплым летом, относительно холодной зимой, с преобладающим западным переносом воздушных масс и умеренным увлажнением, немного увеличивающимся на северо-западе и уменьшающимся на юго-востоке региона [6].

Все реки региона относятся к бассейну реки Волги. Реки протекают по территории Нижегородского Заволжья, поэтому характер их типично равнинный, течение спокойное, со средней скоростью менее 1м/с. По своему режиму реки относятся к восточно-европейскому. Питание — смешанное: снеговое, дождевое и грунтовыми водами. Главным источником питания рек служат талые снеговые воды, на долю которых приходится 60–70% годового стока. Ледостав длится 160–170 дней. Половодье наблюдается в апреле. Руслу рек этого округа извилистые, склоны долин пологие. Характерна боковая эрозия [5]. Главной рекой района является река Керженец. Семеновский округ находится в бассейне этой реки. Керженец — левый приток Волги, протяженность ее 290 км, площадь бассейна — 6140 км<sup>2</sup>. Берёт своё начало в Ковернинском районе близ нежилой деревни Невейки (первый населённый пункт на реке — посёлок Ивановский), протекает по территории городского округа Семёновский, города Бор и Лысковского района, впадает в Волгу близ посёлка Макарьево. Река лесосплавная.

Преобладающими типами почв в заповеднике, как и во всем Семеновском округе являются подзолистые и дерново — подзолистые почвы, в долине Керженца почвы аллювиальные. Территория региона находится в зоне избыточного увлажнения. Здесь располагаются обширные сфагновые верховые и низинные болота, поэтому довольно распространены и болотные почвы, отличающиеся большой мощностью торфяного слоя. Основным характерный признак их — постепенное накопление полуразложившихся растительных остатков в условиях избыточного увлажнения [1].

Керженский заповедник входит в зону смешанных лесов, граничащих с южной подзоной тайги [2]. В лесах заповедника доминирующими породами являются — сосна, липа, ель, дуб, вяз, клен и мелколиственные породы — берёза, осина, по долинам рек — ольха, ива. Богато представлен подросток из различных кустарников — бересклет бородавчатый, лещина, волчье лыко, можжевельник, жимолость, черемуха, крушина, шиповник и др. Еще богаче и разнообразнее мохово-травянистый покров, состоящий из дубравных и таежных видов. Заметим, что лесистость района составляет 73% при среднеобластном показателе — 50%.

В Семеновском районе обитает около 60 видов млекопитающих, которых можно объединить в три группы: животные леса, обитатели открытых пространств (лугов и полей) и обитатели водоемов. Животное население лесов состоит из представителей таежной фауны и фауны смешанных лесов. Видовой состав млекопитающих исследуемого региона включает наиболее типичных таежников, таких, как бурундук, красная полёвка, обыкновенная лютяга, заяц-беляк, рысь, бурый медведь, лось. Довольно обычными на территории района являются волк, лисица, барсук, ласка, летучие мыши, землеройки, кроты и др. Обитателями водных пространств являются бобр, выдра, ондатра, водяная полевка (крыса), водяная землеройка и

ставший теперь исключительно редким зверек — выхоль. Из пресмыкающихся на территории региона обитают ящерица прыткая, веретеница, ящерица живородящая; медянка, уж, гадюка. Из земноводных — зеленая жаба, чесночница, лягушки, тритоны [4]. Довольно богата и разнообразна орнитофауна исследуемого региона. В Семеновском районе распространены хвойно-широколиственные и елово-сосновые леса, характерными представителями которых являются — певчий дрозд, черный дрозд, зарянка, королек, завирушка, малая мухоловка, пеночка-теньковка, клест-еловик, чиж, снегирь, кукушка, дятлы (трехпалый и черный), дрозд-белобровик, неясить, сычи (мохноногий и воробьиный), сова ястребиная, орлан-белохвост, беркут, ястреб-тетеревятник, рябчик, глухарь, куропатка белая и др. В сосновых борах обитают серая мухоловка, горихвостка, хохлатая синица, лесной жаворонок (юла), пеночка-трещетка, дрозд-деряба, пищуха, козодой, славка-завирушка и др. В биотопах с преобладанием лиственных пород можно встретить зяблика, пеночку-весничку, пеночку зеленую, различных славок (садовую, серую, черноголовку), лесного конька, дрозда-рябинника, овсянок (обыкновенную и садовую), большую синицу, гаичку, поползня, мухоловку-пеструшку, пересмешку, иволгу, коноплянку, дятлов (большого и малого пестрого, белоспинного, зеленого), кукушку, сойку, диких голубей (горлицу, клинтуха), иногда еще можно встретить тетерева. Многообразие видов птиц в смешанном лесу объясняется в первую очередь богатством комплекса экологических условий для гнездования: наличием хорошо развитого подростка и подлеска, многоярусностью древостоя, видовым разнообразием растительности. Более разнообразной является авифауна пойменных лугов. Это трясогузка желтая, овсянка-дубровник, чекан луговой, чибис, бекас, коростель. Вблизи водоемов обитают камышовки (болотная, барсучок), варакушка, речной сверчок и др. В лугах, даже среди культурных полей обычен жаворонок, коноплянка, перепел, в местах с присутствием кустарниковой растительности можно встретить овсянок, сорокопуга-жулана, славок, соловья и т. д. Из хищных птиц открытых пространств типичными являются два вида луней — луговой и болотный. Фауна водных и прибрежных птиц отличается большой численностью особей, что объясняется высокой кормовой базой водоемов. Типичными обитателями водных угодий являются утки — кряква, чирки, поганки; по берегам водоемов обитают кулики — перевозчик, кулик-сорока, дупель и др. Из представителей отряда чаек многочисленны у нас чайка обыкновенная, крачка малая и некоторые др. В прибрежных зарослях обитают цапля, выпь, в обрывистых берегах рек гнездятся ласточка береговая, зимородок, щурка. На пролетах можно увидеть гусей, нырков, казарку, лебедя [5]. Ближе к жилью человека наиболее типичны птицы-синантропы (спутники человека): домовый и полевой воробьи, голубь сизый, городская и деревенская ласточки, стриж, скворец, грач, галка. Вблизи населенных пунктов, в облесенных оврагах и поймах рек

обитают ворона серая, сорока; в местах, близких к воде, — трясогузка серая; на пустырях — щегол, жулан, каменка; в садах и парках — горихвостка, синица большая, мухоловка, овсянки, славки и др. Из хищников встречается домовый сыч. Только лишь в холодное время года встречаются прилетающие с севера зимующие птицы: свистелли, чечетки, пуночки, полярная сова. В реках и озёрах региона обитает около 30 видов рыб. В связи с загрязнением водоёмов многие виды рыб стали довольно редкими. К таким следует отнести стерлядь, судака, налима, сома. Пока ещё довольно обычны у нас язь, густера, лещ, чехонь, бычок, линь, карась, краснопёрка, вьюн, щука, плотва, окунь, ерш, голавль, пескарь, голец и др. [5]. Практически всех представителе животного мира Семеновского района можно встретить на территории нашего заповедника.

Керженский заповедник был создан для сохранения численности животного мира и сохранения разнообразия растений. Керженский заповедник (биосферный резерват «Нижегородское Заволжье») — особо охраняемая природная территория федерального значения. Здесь запрещается любая деятельность, которая может нанести ущерб природным комплексам, объектам растительного и животного мира. Территория заповедника входит в состав водно-болотных угодий международного значения — Камско-Бакалдинскую группу болот. Это крупнейший болотный массив в центре Европейской России и ключевая орнитологическая территория всемирного значения. В рамках программы ЮНЕСКО в 2002 году Керженский заповедник получил статус биосферного, став ядром биосферного резервата «Нижегородское Заволжье». Заповедник был основан 23 апреля 1993 года. Площадь его 46936 га, из них лесные площади — 42210 га, болота — 3 га. Географические координаты крайних точек территории заповедника: западная — 44° 44' в. д., восточная — 45° 16' в. д., северная — 56° 37' с. ш. и южная — 56° 23' с. ш. Заповедник расположен в бассейне среднего течения реки Керженца (приток Волги), в Городском округе города Бор и Городском округе Семёновский Нижегородской области [7]. Территория заповедника расположена в Южном Заволжье. Этот край представляет собой песчаную слабонаклонную равнину с заболоченными низинами и дюнами; край, где царствуют сосновые леса и болота. Речную сеть заповедника образуют река Керженец, по которой проходит западная граница заповедника, и её левые притоки. Все озера на территории заповедника пойменные (старицы Керженца). Наиболее крупные притоки Керженца — реки Большая и Малая Черная, Вишня, Пугай. В Керженском заповеднике сохранились в есте-

ственном состоянии свыше 30 торфяных болот с общей площадью около 4000 гектаров [1].

Растительный мир заповедника очень разнообразен и отражает структуру и видовой состав природных комплексов, характерных для Нижегородского Заволжья. Растительность представлена в основном сосновыми и мелколиственными лесами и болотами. Доминирование сосновых и берёзовых лесов — следствие рубок и посадок лесных культур и регулярно возникающих пожаров. Сосняки в зависимости от увлажнения представлены от сухих — лишайниковых боров до сырых — сфагновых. Ельники занимают небольшие площади, которые расположены преимущественно в долине р. Керженец и в основном являются широколиственно-хвойными лесами (с примесью липы и дуба). Под пологом ели встречаются растения, характерные для тайги и для широколиственных лесов. В заповеднике выявлено 383 вида грибов, 207 видов лишайников, 841 вид водорослей, 216 видов мохообразных, 647 видов сосудистых растений. В заповеднике в первую очередь взяты под охрану животных (бобр, выхухоль, выдра, глухарь, беркут и другие) и редких растений (качим метельчатый, сон-трава и другие). На территории Керженского заповедника подлежат охране 144 вида птиц, принадлежащих к 40 семействам 13 отрядов. Гнездование установлено для 110 видов, из них 30 — оседлые. Только на пролете встречаются 14 видов, в зимний период — 2, кочующими являются 3 вида и у 13 — статус пребывания не установлен. В настоящее время проводятся эксперименты по возрождению популяций животных и птиц, в частности, белой куропатки, северного оленя, обитавших прежде на территории заповедника [8].

Северные олени исчезли в Заволжье Нижегородской области в начале XX века. В конце 2015 года в Керженский заповедник завезли 5 северных оленей из Москвы и Вологодской области в рамках программы по восстановлению популяции в регионе этих «краснокнижных» животных. Олени освоились и прошлой зимой благополучно сбросили рога. В 2017 году планируется увеличить популяцию северных оленей более чем в два раза. В 2014 году в экопарке Керженского заповедника был оборудован демонстрационный вольер, где сейчас обитают олени. В 2015 году в заповеднике были отгорожены три отсека общей площадью 6,5 га для содержания маточного поголовья, здесь же останутся жить и вновь прибывшие олени.

Таким образом, в Нижегородской области из более чем 400 действующих особо охраняемых природных территорий — Керженский заповедник является единственным на сегодняшний день заповедником в области [4].

#### Литература:

1. Тереньтеев, А. А. Климат конца XX века в средней полосе Нижегородской области / Городец. Семенов. Нижний Новгород. Павлово. Лысково. Воскресенское/. В помощь учителю, студенту, школьнику / Колкутин В. И. — Н. Новгород: Изд-во «Вектор-Тис», 2004. — 374 с.
2. Трубе, Л. Л. География Горьковской области. Учебное пособие / Трубе Л. Л. — Горький: «Волго-Вятское» изд-во, 1978. — 176 с.

3. Любов, М. С. География Нижегородского края: Учебное пособие / М. С. Любов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Арзамас: АГПИ, 2004. — 97 с.
4. Любов, М. С. Нижегородское краеведение: учебное пособие / Любова Е. Ю. — Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2016. — 109 с.
5. Коломыц, Э. Г. География Нижегородской области. Учебное пособие / Кулинич Г. С., Николина В. В., Орфанов И. К., Фролова Н. В. — Н. Новгород: «Волго-Вятское» изд-во, 1991. — 207 с.
6. География Нижегородской области. Учебное пособие. — Нижний Новгород: Волго-Вятское книжное издательство, 1991. — 207 с.
7. Климат Нижнего Новгорода / Под редакцией Ц. А. Швер., С. В. Рязановой. — Ленинград: Гидрометеиздательство, 1991. — 167 с.
8. Мельникова, А. П. Практикум по дисциплине «Краеведение». — Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2016. — 55 с.

## Аналитические исследования и разработка технологии утилизации бурового шлама на континентальном шельфе

Перовщиков Игорь Евгеньевич, магистрант;  
Научный руководитель: Квеско Наталия Геннадьевна, доктор технических наук  
Сибирский федеральный университет (Красноярск)

**Ключевые слова:** экология, буровой шлам, утилизация, континентальный шельф, бурение, обезвоживание, обезвреживание, шламовый амбар

Охрана и защита окружающей среды, особенно при освоении северных территорий и континентального шельфа — одна из важнейших проблем нефтедобывающей отрасли. Утилизация промышленных отходов — один из путей, помогающих минимизировать отрицательное воздействие выбуренного шлама и буровых отходов на грунт, прилегающий к буровым вышкам, поверхностные и пластовые воды, природные эндемики.

Негативным побочным эффектом поиска, разведки и добычи углеводородов является накопление буровых отходов, образующихся в процессе доступа к этим ресурсам. Основной объем отходов составляет буровой шлам, извлекаемый из скважины на поверхность. Одной из первоочередных проблем при обращении с нефтеотходами выступает выбор оптимальной схемы их утилизации или обезвреживания [1].

Под утилизацией отходов понимается переработка вредных промышленных отходов в пригодные сырьевые материалы или же их уничтожение с минимальным воздействием на окружающую среду. Большинство известных исследований по разработке способов утилизации буровых шламов отечественных и зарубежных стран, в основном направлены на выделение и утилизацию нефти и нефтепродуктов.

Проблема обеспечения экологической безопасности при обращении с буровыми отходами нефтедобычи является актуальной во всем мире, но особенно остро проявляется в России практически в каждом нефтедобывающем регионе.

Важность проблемы определяется не только значительным количеством, но и негативным воздействием нефтеотходов практически на все компоненты природной среды. В результате их воздействия происходит существенное изменение природного состояния геоэкологической среды, снижение естественной защищенности подземных вод, активизация геохимических и геомеханических процессов, смена естественного микробиоценоза. Угрожающий рост накапливаемых ежегодно опасных нефтеотходов при отсутствии необходимых масштабов их утилизации приводит к изъятию земельных ресурсов на длительные сроки. В то же время нефтеотходы относятся к вторичным материальным ресурсам и по своему химическому составу и полезным свойствам могут быть использованы в народном хозяйстве в качестве первичного сырья.

Среди существующих методов разделения нефтешламов с целью утилизации наиболее используемыми являются центрифугирование, экстракция, гравитационное уплотнение, вакуум-фильтрация, фильтрпрессование, замораживание и др. Из них наиболее перспективным является центрифугирование с использованием флокулянтов [3]. Центрифугированием можно достичь эффекта извлечения нефтепродуктов на 85 %, мехпримесей — на 95 %. При реагентной обработке нефтешламов изменяются их свойства: повышается водоотдача, облегчается выделение нефтепродуктов. В качестве наиболее прогрессивных можно перечислить некоторые технологии ликвидации шламовых амбаров и утилизации буровых шламов, применяемые в России и за рубежом.

Технологическому процессу утилизации шлама на континентальном шельфе способствовало следующее исследование. В котором в ходе работы был рассмотрен метод ликвидации буровых отходов так путем их отверждения (солидации) сермический последующим захоронением под слой мелкокоразмерных минерального грунта концентрации или использованием улиц в хозяйственной деятельности. Глиноподобная значительный отвердевшая масса значительный может служить строительным материалом бетонах или, после установку помола, удобрением. Для выбуренных отверждения отходов в процессе бурения их обрабатывают предварительно активными добавками. Если прочность нефтешламовых отвердевшей смеси насадки через 3сут составляет 0,1 Мпа, то цель наиб считается достигнутой ильина. Для отделения ускорения сроков выбуренная схватывания содержание активизирующих добавок увеличивают фективным или вводят первую полиэлектролиты (поваренная помощью соль, хлористый смеси кальций, кальцинированная нефти сода) [4].

Процесс ликвидации амбара с последующей утилизацией бурового шлама можно условно разделить на следующие технологические стадии:

- сбор нефтяной пленки с поверхности амбара;
- очистка жидкой фазы от эмульгированной нефти;
- доочистка жидкой фазы (степень очистки зависит от дальнейшего использования очищенной воды);
- обезвоживание и обезвреживание бурового шлама;
- утилизация бурового шлама; очистка нефтезагрязненного грунта. Таким образом, весь технологический процесс ликвидации шламового амбара проводится в два этапа:
  - 1) очистка и обезвреживание содержимого амбара и
  - 2) собственно утилизация бурового шлама. Первый этап должен проводиться с учетом особенностей состава отходов, находящихся в шламодом амбаре [2].

Утилизация обезвреженного бурового шлама предварительно обезвреженный буровой шлам может использоваться в производстве строительных материалов — кирпича, керамзита, мелкокоразмерных строительных изделий и т. п.

Состав шлама при бурении (таблица 1):

Таблица 1

Компоненты отходов	Состав при бурении первой скважины, т	Состав при бурении последующих скважин, т
1. Вода	314,0	314,0
2. Шлам	150,0	150,0
3. Нефть	29,64	26,64
4. Бентонит	2,8	1,4
5. ПАВ-неонол	0,073	0,073
6. КМЦ	0,364	0,182
7. ТПФН	0,052	0,052
8. ГКЖ	0,080	0,080
9. Сода кальцинированная	0,042	0,042
10. Сода каустическая	0,150	0,150
11. КССБ	0,161	0,161
12. Графит	0,150	0,150
13. Барит	0,096	0,096
14. Цемент	0,722	0,722
15. Гипан	0,172	0,086
16. НТФ	0,045	0,045
17. «Нитрон» — отходы	0,170	0,170
18. Смазочная добавка	0,520	0,520

Возможная номенклатура продуктов утилизации:

1. Мелкокоразмерные стройизделия.
  - шлакоблоки по ГОСТ 6133—84. Возможно использование в малоэтажном строительстве для ограждающих и несущих конструкций, подсобных зданий.
  - плитка тротуарная по ГОСТ 17608—91. Возможно использование для устройства сборных покрытий тротуаров.
  - бордюрный камень по ГОСТ 6665—91. Возможно использование для отделения проезжей части улиц от тротуаров, газонов, площадок и т. д.

2. Связующие смеси по ГОСТ 23558—94. Возможно использование для устройства оснований и дополнительных слоев оснований автодорог с капитальным, облегченным и переходными типами дорожной одежды.

3. Гранулированный заполнитель. Возможно использование в бетонах.

Внедрение мероприятий по переработке отходов нефтесодержащих, несомненно, в первую очередь направлено на снижение негативного воздействия на окружающую среду. Однако, немаловажен и социально-экономический эффект для предприятия: уменьшение платы за размещение

отходов; получение прибыли от реализации продуктов утилизации; расширение инфраструктуры рабочих профессий предприятия; создание дополнительных рабочих мест.

Целью настоящей работы приемную является выбрать наиболее приемлемые с экологической и экономической точки зрения методы утилизации бурового шлама на континентальном, арктическом шельфе.

В работе решаются следующие задачи

1. Проводится анализ современного состояния утилизации бурового шлама.
2. Анализируется вторичное использование типа уже обработанного (5 класса твердой опасности) шлама.

3. Проводится анализ немаловажен экономической выгоды от от вывоза и утилизации отверждения шлама.

4. Обосновывается внедрение новых технологий или совершенствование уже используемых.

На стадии работы над проектом осуществлен анализ патентных, теоретических и экспериментальных данных. Проведены экономические расчеты. В результате разработаны методологические подходы, позволяющие решать проблему обезвреживания и утилизации буровых шламов не традиционными деструктивными способами, а методами повышения потребительских свойств, очистки от лишних примесей и компонентов, концентрирования, обезвреживания и другими способами обогащения с применением отходов в смежных областях производства.

Литература:

1. Б. С. Баталин, А. Е. Нечаева. Утилизация бурового шлама переработкой в материалы строительного назначения. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — 2013
2. Некоторые возможные способы утилизации отходов бурения и нефтедобычи // Neftgaz. ru. URL: <http://neftgaz.ru/science/view/189-Nekotorye-vozmozhnye-sposoby-utilizatsii-othodov-bureniya-i-neftedobychi> (дата обращения: 12.04.2017).
3. Сметанин, В. Л., Казначеева З. В. Обработка нефтешламов: Тез. Докл. 27 науч.-техн. Конф. Пермского политехнического института. Ч. 2. Пермь, 1991.
4. Танатаров бетонах М. А. и др. Опыт если утилизации нефтешламов логическом ЛПДС «Черкаскы» // Промышленные химическая и бытовые отходы. Проблемы циклонной и решения: Мат. конф. Ч. 1. Уфа, 1996

## **Изучение влияния автомобильного транспорта на состояние атмосферного воздуха г. Туймазы в районе ГАПОУ РБ «Туймазинский медицинский колледж»**

Федотов Дмитрий Виталиевич, студент

Научный руководитель: Сагитова Ляйля Ахтамьяновна, преподаватель  
Туймазинский медицинский колледж (Республика Башкортостан)

**Ч**еловек в среднем за сутки потребляет 1 кг. пищи и 2 л. воды, а сколько же воздуха ему нужно? И так, считаем, сколько литров воздуха вдыхает человек в сутки. За 1 минуту мы с вами делаем, в среднем, около 15 вдохов, при этом каждый наш вдох вводит в легкие почти 0,5 литра воздуха:

$$0,5 \text{ л.} \times 15 \text{ вд.} \times 1440 \text{ мин} = 10800 \text{ л.}$$

Таким образом, за 24 часа (т. е. за 1440 мин.) человек вдыхает примерно 10800 л воздуха! При стандартном давлении такой объем воздуха будет весить около 14 кг., что более чем в 4 раза больше съеденной нами за день пищи. (А мы считали, что воздух ничего не весит!) Причем требуется воздух чистый, так как загрязненный воздух может стать причиной серьезных заболеваний. Продолжаем свои расчеты на основании наших знаний: во вдыхаемом воздухе кислород составляет примерно 21%, а выдыхаемом - 15%, значит в нашем организме остается 6% кис-

лорода, что составит 0,84 кг-столько  $O_2$  потребляет организм человека в сутки.

Легковой же автомобиль на 1000 км расходует столько же кислорода, сколько его нужно взрослому человеку на целый год. При этом не только расходует  $O_2$ , но и производит выбросы выхлопных газов, оказывая огромный ущерб окружающей среде и, как следствие, человеку. Многие ученые считают, а аналитики утверждают, что этот процесс загрязнения необратим, ведь ни один человек, ни одно предприятие, ни одна страна не откажется от средств транспорта. Актуальность данной темы обусловлена возрастающим количеством автотранспорта и решением проблемы его воздействия на качество атмосферного воздуха нашего города и здоровье населения. Цель исследования: ознакомиться с литературой по данному вопросу; изучить влияние потока автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха в районе колледжа, отследить ин-

тенсивность транспортных потоков по улице Пугачева; по полученным данным построить графики динамики интенсивности транспортных потоков и рассчитать количество выбросов вредных веществ в утренние, дневные и вечерние часы; провести блиц-опрос водителей автотранспорта — родителей учащихся колледжа, сотрудников колледжа; разработать предложения по улучшению экологической ситуации на основе данных, полученных при исследовании. Предмет исследования стал транспортный поток по улице Пугачева. Для исследования выдвинута гипотеза, что расстояние от улицы с интенсивным движением до здания колледжа не обеспечивает нормальную чистоту воздуха на прилегающей к ней территории, поэтому проветривать кабинеты нужно в часы, когда в этом районе машин меньше всего. Задачей исследования стало выявление основных загрязняющих веществ от автомобильного транспорта; рассмотрение специфики влияния автомобильного транспорта на окружающую среду; анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха в РБ, г. Туймазы. При этом использовались теоретические методы исследования (анализ специализированной литературы по проблемам исследования, обобщения и сравнения), эмпирические методы (статистика, беседы, блиц-опрос) и статистическая обработка полученных результатов.

В Республике Башкортостан более 4 тысяч промышленных предприятий и организаций имеют источники выбросов загрязняющих веществ, а республиканский автопарк насчитывает более 1626 тыс. автотранспортных средств. Автотранспорт — один из основных источников загрязнения атмосферного воздуха, поставщик в атмосферу выхлопных газов, бензола, свинца, смол, угарного газа, копоти и т. д., всего более 200 вредных веществ. Конечно, объемы выбросов в последние годы пошли на убыль, причиной явились и закрытие или консервирование промышленных предприятия в регионе, и применение качественного топлива для автотранспорта. Но в нашем городе одно осталось неизменным — удельное соотношение выбросов в атмосферу от стационарных источников и от транспортных средств — они почти равны. По данным «Доклада Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан об экологической ситуации на территории республики в 2015 году» доля выбросов от автотранспорта в городе составила 49,2% от общего объема выбросов и связана с увеличением количества автомобилей. В среднем по Башкортостану условно на 2,5 человека приходится 1 автотранспорт (населения  $4071181:1626000=2.5$ ). Так как нам не удалось найти данные по количеству автотранспорта по г. Туймазы,

мы получили эти данные расчетным путем: на начало 2017 г. численность населения города составило 68340 человек:  $68340:2,5=27336$  всего автотранспорта.

Для проведения натурных обследований структуры и интенсивности автотранспортного потока проделаны следующие действия: дана характеристика расположения ГАПОУ РБ «Туймазинский медицинский колледж» относительно автомобильной магистрали с составлением схемы расположения и определением поста и времени натурального наблюдения; подсчитывалось число легковых и грузовых автомобилей, автобусов. характеристика здания относительно соответствия санитарно-гигиеническим требованиям; было рассчитано количество выделившихся вредных веществ на выбранном участке дороги по сгоревшему за час топливу, используя справочные данные, для работы двигателей в режиме движения. Установлено, что в период с 8.00 до 13.00 час, когда студенты находятся в колледже на занятиях, количество машин превышает допустимые нормы (не более 200 автомобилей в час). Поскольку вредные вещества скапливаются в нижних слоях воздуха, то возникает вопрос о результативности проветривания кабинетов, расположенных на первом этаже здания со стороны улицы Пугачева. К тому же, расстояние от улицы с интенсивным движением до здания колледжа не обеспечивает нормальную чистоту воздуха на прилегающей к ней территории, поэтому проветривать кабинеты нужно в часы, когда в этом районе машин меньше всего. На содержание вредных веществ в воздухе влияют режимы разгона и торможения автотранспорта, когда увеличиваются расходы топлива и выбросы выхлопных газов в атмосферу, а именно эти процессы происходят перед колледжем при высадке и посадке пассажиров (учащихся колледжа). С целью изучения общественного мнения по вопросу состояния воздуха в районе медицинского колледжа мы обратились к заинтересованной группе участников образовательного процесса — родителям студентов и к ним самим непосредственно. Среди водителей, владеющих автотранспортом и регулярно привозящих студентов в колледж, был проведен блиц-опрос. Результаты исследования привели к выводу: автотранспорт значительно осложняет экологическую обстановку в районе колледжа и способствует росту заболеваемости среди учащихся; интенсивность движения транспорта по улице Пугачева более 200 автомобилей в час; наибольшая интенсивность движения приходится время проведения занятий; участники движения осознают вред от автотранспорта, но при этом многие считают, что удобства и экономия времени важнее экологии и здоровья студентов.

#### Литература:

1. Доклад Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан об экологической ситуации на территории республики в 2015 году.
2. СанПиН 2.4.2.1178–02 «Гигиенические требования к условиям обучения в общеобразовательных учреждениях»)
3. Крымская, И. Г. Гигиена и основы экологии человека. Учебное пособие. Ростов н/Д: — Феникс, 2012. — 351 с.

4. Трушкина, Л. Ю., Трушкин А. Г., Демьянова Л. М. Гигиена и экология человека. Учебное пособие. Серия «Учебники, учебные пособия». Ростов н/Д: Феникс, 2014. – 448 с.
5. [biofile.ru](http://biofile.ru)
6. [BestReferat.ru](http://BestReferat.ru)

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал  
Выходит еженедельно

№ 16 (150) / 2017

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметов И. Г.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М. Н.  
Иванова Ю. В.  
Каленский А. В.  
Куташов В. А.  
Лактионов К. С.  
Сараева Н. М.  
Абдрасилов Т. К.  
Авдеюк О. А.  
Айдаров О. Т.  
Алиева Т. И.  
Ахметова В. В.  
Брезгин В. С.  
Данилов О. Е.  
Дёмин А. В.  
Дядюн К. В.  
Желнова К. В.  
Жуйкова Т. П.  
Жураев Х. О.  
Игнатова М. А.  
Калдыбай К. К.  
Кенесов А. А.  
Коварда В. В.  
Комогорцев М. Г.  
Котляров А. В.  
Кузьмина В. М.  
Курпаяниди К. И.  
Кучерявенко С. А.  
Лескова Е. В.  
Макеева И. А.  
Матвиенко Е. В.  
Матроскина Т. В.  
Матусевич М. С.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Паридинова Б. Ж.  
Прончев Г. Б.  
Семахин А. М.  
Сенцов А. Э.  
Сенюшкин Н. С.  
Титова Е. И.  
Ткаченко И. Г.

Фозилов С. Ф.

Яхина А. С.

Ячинова С. Н.

**Международный редакционный совет:**

Айрян З. Г. (Армения)  
Арошидзе П. Л. (Грузия)  
Атаев З. В. (Россия)  
Ахмеденов К. М. (Казахстан)  
Бидова Б. Б. (Россия)  
Борисов В. В. (Украина)  
Велковска Г. Ц. (Болгария)  
Гайич Т. (Сербия)  
Данатаров А. (Туркменистан)  
Данилов А. М. (Россия)  
Демидов А. А. (Россия)  
Досманбетова З. Р. (Казахстан)  
Ешиев А. М. (Кыргызстан)  
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)  
Игисинов Н. С. (Казахстан)  
Кадыров К. Б. (Узбекистан)  
Кайгородов И. Б. (Бразилия)  
Каленский А. В. (Россия)  
Козырева О. А. (Россия)  
Колпак Е. П. (Россия)  
Курпаяниди К. И. (Узбекистан)  
Куташов В. А. (Россия)  
Лю Цзюань (Китай)  
Малес Л. В. (Украина)  
Нагервадзе М. А. (Грузия)  
Прокопьев Н. Я. (Россия)  
Прокофьева М. А. (Казахстан)  
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)  
Ребезов М. Б. (Россия)  
Сорока Ю. Г. (Украина)  
Узаков Г. Н. (Узбекистан)  
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)  
Хоссейни А. (Иран)  
Шарипов А. К. (Казахстан)

**Руководитель редакционного отдела:** Кайнова Г. А.

**Ответственные редакторы:** Осянина Е. И., Вейса Л. Н.

**Художник:** Шишков Е. А.

**Верстка:** Бурьянов П. Я., Голубцов М. В., Майер О. В.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

**почтовый:** 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231;

**фактический:** 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Подписано в печать 03.05.2017. Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 25