

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

# УЧЁНЫЙ<sup>®</sup>

международный научный журнал

Языковые процессы  
в современной русской прозе

Тайны художественного текста:  
каким методом  
лингвистики

Актуальные проблемы стилистики  
и анализа текста

Языковая компетенция  
художественного текста



17

2016

Часть I

16+

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Международный научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 17 (121) / 2016

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

Абдрасилов 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

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

На обложке изображена Галия Дуфаровна Ахметова (1954–2015) — филолог, профессор, член Союза писателей России, первый главный редактор журнала «Молодой ученый».

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 Бекмуратович, *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)*

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: 1.10.2016. Цена свободная.

Материалы публикуются в авторской редакции. Все права защищены.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

#### **Грицкевич И. Ю.**

Методы определения выдержки для светочувствительной матрицы видеокамеры .....1

#### **Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Устинов А. П., Патерило А. С., Авдеев А. С., Габзалилов Э. Ф.**

Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя с ШИМ в пакете SimPowerSystems ..... 4

### ИНФОРМАТИКА

#### **Дошина А. Д.**

Обзор существующих систем планирования и управления летной работой ..... 11

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### **Астафьева В. В.**

Формирование нейронной сети .....15

#### **Бикбаева Н. А., Лустина О. В., Купченко А. М.**

Прозрачный бетон.....19

#### **Больш П. В.**

Расчет температурно-технологических параметров устройства асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха..... 21

#### **Больш П. В.**

О методах расчета асфальтобетонных покрытий построенных при пониженных температурах воздуха и контроль качества их устройства .....23

#### **Больш П. В.**

Влияние химических добавок на коэффициент уплотнения асфальтобетона при строительстве покрытия в условиях пониженных температур .25

#### **Больш П. В.**

Расчет требуемой температуры горячей асфальтобетонной смеси на выходе из укладчика ..... 27

#### **Больш П. В.**

Экспериментальная проверка технологии устройства асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха.....29

#### **Виноградова Н. А., Теплова Ж. С.**

Сдерживающие факторы использования композитной арматуры ..... 31

#### **Волынцев П. А.**

Преимущества применения асфальтогранулобетонных смесей на вспененном битуме .....35

#### **Волынцев П. А.**

Преимущества устройства тонкослойных асфальтобетонных покрытий ..... 37

#### **Волынцев П. А.**

Преимущества асфальтобетонных покрытий с резиновой крошкой .....38

#### **Ивашинников Б. А., Коваленко М. В., Лесков О. М.**

Подключение акселерометра, выполненного по MEMS-технологии, к микроконтроллеру STM32F407VGT6..... 40

#### **Ивашинников Б. А., Коваленко М. В., Лесков О. М.**

Реализация VGA-интерфейса на базе FPGA фирмы Altera .....44

#### **Костюк С. В., Мытыев Д. А., Рязанов А. В.**

Об определении некоторых геометрических параметров проектируемых площадок .....48

#### **Магеррамов Р. В.**

Использование контрольно-диагностических стендов для тестирования микросхем .....53

|   |   |
|---|---|
| <b>Магеррамов Р. В.</b><br>Характеризация статических ячеек памяти ..... 57   | <b>Сурков В. О.</b><br>Формирование облика навигационной системы<br>для подвижного наземного объекта.....76   |
| <b>Миниахметов А. А., Абдуллин С. А.</b><br>Анализ главных параметров электросети при<br>аварийных режимах в нефтяных предприятиях<br>и использование средств автоматического<br>включения резерва ..... 60 | <b>Чепрасова А. С., Мамелин Ю. В.</b><br>Будущее и настоящее СБИС.....79  |
| <b>Непша Ф. С.</b><br>Особенности регулирования напряжения<br>в распределительных сетях<br>с малой генерацией ..... 67  | <b>Шепелев А. О., Артамонова Е. Ю.</b><br>Алгоритм для расчета потерь мощности<br>в электрических сетях с учетом<br>несинусоидальности напряжения..... 81 |
| <b>Петухов Р. Н.</b><br>Применение технологии «тонкий клиент»<br>на промышленных предприятиях..... 71   | <b>Шепелев А. О., Артамонова Е. Ю.</b><br>Классификация современных<br>ветроэнергетических установок по мощности .. 92                                    |
| <b>Сурков В. О.</b><br>Обработка навигационных данных<br>в навигационных системах подвижных<br>наземных объектов.....74   | <b>Шепелев А. О., Артамонова Е. Ю.</b><br>Подклассы мощности ветроэнергетических<br>установок .....96   |
|   | <b>Шепелев А. О., Артамонова Е. Ю.</b><br>Расчет емкости аккумуляторных батарей.....99  |
|   | <b>Шульга К. С., Астапова Ю. О., Астапов А. Е.</b><br>Гибридные солнечные коллекторы ..... 101  |



## ФИЗИКА

### Методы определения выдержки для светочувствительной матрицы видеокамеры

Грицкевич Иван Юрьевич, старший инженер  
АО «ОКТБ «ОМЕГА» (г. Великий Новгород)

Светочувствительные материалы и электронные преобразователи света в электрические сигналы обладают ограниченной фотографической широтой и способны воспроизвести относительно узкий диапазон яркостей объекта съёмки. Поэтому, для правильного отображения всех участков снимаемой сцены необходимо точное дозирование количества света, получаемого светоприёмником [1].

Одним из способов является управление экспозицией, позволяющей сохранять основные элементы сцены на изображении [2]. Целью данной работы является исследование алгоритмов управления экспозицией с целью расширения динамического диапазона светочувствительной матрицы видеокамеры и разработка методики их сравнения.

#### 1. Методы исследования

Для оценки алгоритмов управления экспозицией необходимо использовать объективные математические методы оценки качества изображения [3]. Наибольшее распространение получили два метода оценки времени экспозиции [4]: — по контрастности изображения и по яркости пикселей изображения.

Для реализации алгоритмов вычисления экспозиции нами был использован второй из перечисленных методов, так как в отличие от метода вычисления по контрастности он обеспечивает большую точность [5].

Оценка времени экспозиции по яркости пикселей изображения осуществляется путём сравнения эталонного изображения (изображения с оптимальной экспозицией и заданной освещённостью) с изображением, полученным при использовании предложенных алгоритмов. Метод заключается в следующем.

1. Строится эталонное изображение с оптимальной экспозицией для заданной освещённости (оптимальные постоянные экспозиция устанавливаются вручную в эталоне).

2. Строится функция преобразования освещённости пикселя в яркость пикселя

где  $I$  — освещённость пикселя,  $T$  — время экспозиции.

3. Учитывается ошибка преобразования освещённости в яркость пикселей.

Функция ошибки преобразования — разница между пикселями на изображении

Средняя ошибка преобразования освещённости к яркости пикселей изображения определяется выражением:

$$\overline{\Delta B(I, T)} = \frac{\sum_i^M \Delta B(I, T)_i}{M} \quad (1)$$

где  $i$  — номер пикселя,  $M$  — общее количество пикселей в кадре.

4. Задается сцена следующей освещённости:

- равномерно освещённая сцена;
- сцена с различной освещённостью областей изображения [6].

#### 2. Анализ алгоритмов управления экспозицией

В работе исследованы следующие два алгоритма управления экспозицией, использующие гистограмму яркости, построенную ранее: алгоритм с разбиением гистограммы на области с оценкой по максимальной и минимальной яркости в кадре; алгоритм с разбиением гистограммы на области с оценкой по трём параметрам гистограммы.

##### 2.1. Алгоритм с разбиением гистограммы на области с оценкой по максимальной и минимальной яркости в кадре

Алгоритм с параметрами минимум и максимум базируется на разбиении гистограммы на шесть зон (рис. 1), по которым производится управление экспозицией.

Данный алгоритм использует следующие параметры гистограммы яркости изображения [7]: максимальное значение гистограммы яркости изображения —  $B_{max}$  (5% от числа пикселей в верхней части гистограммы); минимальное значение гистограммы яркости изображения —  $B_{min}$  (5% от числа пикселей в тёмной части гистограммы).

Предложенный алгоритм состоит из следующей последовательности действий.

1. Диапазон изменения яркости, например, для 8 битного сигнала [0, 255], разбивается на шесть зон с раз-

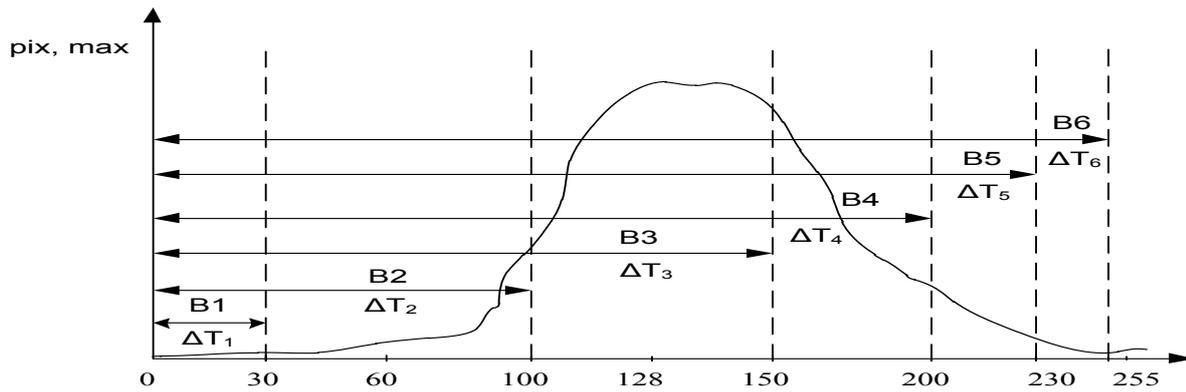


Рис. 1. Разбиение гистограммы яркости изображения на зоны

ными шагами экспозиции. 2. В зависимости от того, в какую зону попадают расчётные значения максимума  $B_{max}$  и минимума  $B_{min}$ , делается соответствующий шаг приближения к нужной экспозиции.

Приведены шаги работы автомата управления экспозицией исследуемого алгоритма [8].

Задается первоначальная экспозиция (экспозиция начала работы) и  $T_k$  — время вывода одного полного кадра. 2) Вычисляются  $B_{min}$  и  $B_{max}$ . 3) Вычисляется текущая экспозиция и следующий шаг  $T_{n+1} = T_n + \Delta T/2$ . 4) Проверяется условие попадания  $B_{min}$  и  $B_{max}$  в зону оптимальной яркости.

В зависимости от этого время экспозиции не изменяется или повторяются предыдущие пункты.

### 2.2 Алгоритм с разбиением гистограммы на области с оценкой по трём параметрам из гистограммы

По сравнению с предыдущим алгоритмом здесь добавляется дополнительно вычисляемый параметр — средняя яркость изображения.

Алгоритм состоит из следующих шагов: 1) Задается первоначальная экспозиция  $T = \frac{T_k}{2}$ , где  $T_k$  — время одного кадра. Вычисляются  $B_{min}$ ,  $B_{max}$  и  $B_{ср}$ . 2) Вычисляется отношение значения средней яркости изображения  $B_{ср}$  к теоретическому значению средней яркости (128 для 8-битового изображения). 3) Выставляется новое значение экспозиции путем умножения предыдущей экспозиции на полученный коэффициент. 4) Вычисляются значения  $B_{max}$  и  $B_{min}$  и вводится поправка экспозиции. Вычисляется текущий шаг экспозиции  $T_{n+1} = T_n + \Delta T/2$ . 5) Проверяется условие попадания  $B_{ср}$  в зону оптимальной яркости. По результатам проверки сохраняется текущая выдержка или следуют предыдущие шаги.

### 2.3. Сравнительный анализ вариантов управления экспозицией матриц

Рис. 2 и 3, приведённые ниже, показывают преимущества и недостатки рассмотренных алгоритмов регулировки экспозиции.

В центре на рис. 7 и 8 изображён кадр с эталонной экспозицией, слева — кадр с экспозицией, установленной алгоритмом по двум параметрам: максимальной и минимальной яркости, справа — кадр с экспозицией, установленной алгоритмом по трём параметрам: средней яркости в кадре, максимальной и минимальной яркости.

### 3. Моделирование алгоритмов в Simulink

Путем моделирования в Simulink проведена оценка количества операций (времени затрачиваемого на обработку), необходимого для получения оптимального значения экспозиции, для следующих начальных условий: — изображение 8-бит; — время экспозиции  $T = 100$  мс; — яркость пикселя  $B = 30$ ; — величина оптимальной яркости пикселя  $B_{ср} = 128$ ;

Рис. 9 представляет результаты моделирования, где горизонтальная пунктирная линия показывает максимальное время обработки данных.

### Заключение

В работе проведён анализ алгоритмов управления экспозицией и разработана методика сравнения эффективности исследуемых алгоритмов. При проверке алгоритмов использовалась среда MATLAB.

Оба алгоритма дают удовлетворительный результат. Каждый из них имеет преимущества при определённых сюжетах. Для сцен с присутствием ярких объектов лучше подходит алгоритм с оценкой экспозиции по максимуму и минимуму яркости. В этом случае алгоритмом с оценкой по трём параметрам могут быть потеряны некоторые данные. В сценах с большим количеством деталей средних тонов лучше показал себя алгоритм управления экспозицией по трём параметрам (по средней, минимальной и максимальной яркости в кадре).

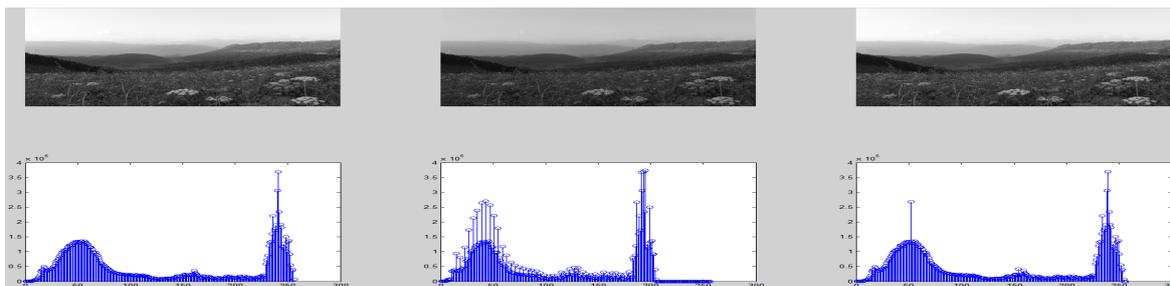


Рис. 2. Пример отработки экспозиции двумя алгоритмами первой сцены

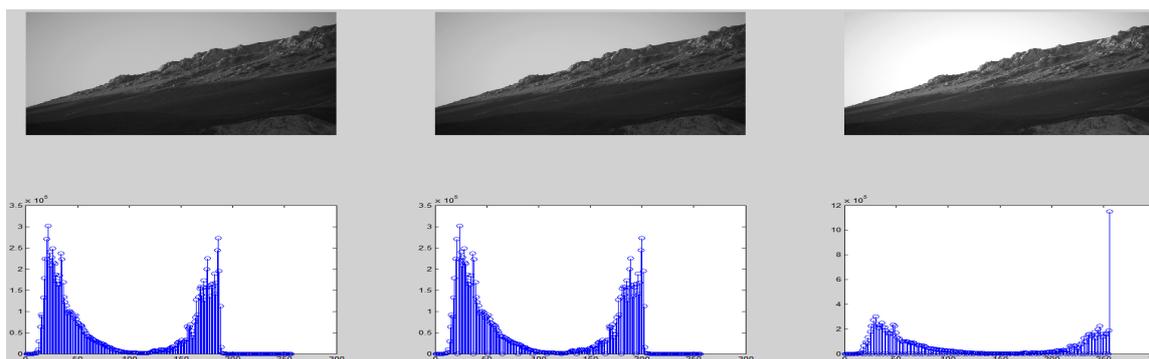


Рис. 3. Пример отработки экспозиции двумя алгоритмами второй сцены

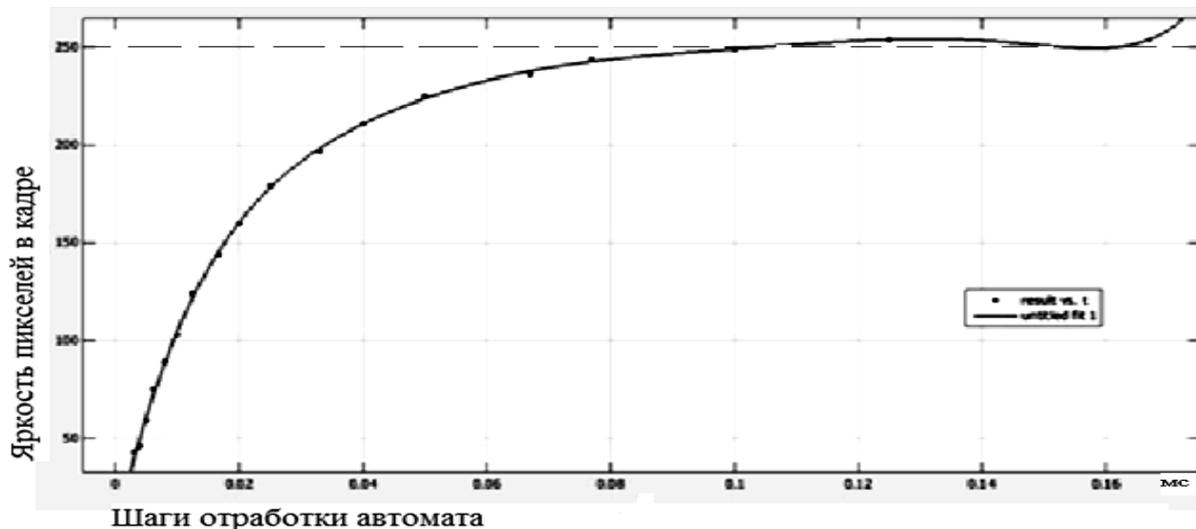


Рис. 4. Зависимость изменения яркости в кадре (количества пикселей ниже определённой яркости) от шага экспозиции

Литература:

1. Г. Андерег, Н. Панфилов. Глава VIII. Экспонетрирование // Справочная книга кинолюбителя / Д.Н. Шемякин. — Л.: «Лениздат», 1977. — с. 192–199. — 368 с
2. Lukac, R. Single-Sensor Imaging: Methods and Applications for Digital Cameras (Image Processing Series). Florida: CRC Press, 2009. 600 p.
3. Cho, M., Lee S., Nam B. D. Fast auto-exposure algorithm based on numerical analysis // Proc. SPIE 3650, Sensors, Cameras, and Applications for Digital Photography. 1999. Vol. 3650. P. 93–99.
4. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд. иностр. лит., 2011. 200 с.

5. Nayar, S.K. Computational cameras: redefining the image // IEEE Computer Magazine, Special Issue on Computational Photography. 2006. P. 30–38.
6. Kuthirummal, S., Nayar S. K. Multiview Radial Catadioptric Imaging for Scene Capture // ACM Trans. on Graphics. 2006. P. 916–923.
7. Kang, H. W. Space-time video montage // Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2006. P. 1331–1338.
8. Sunkavalli, K. Factored time-lapse video. ACM Trans. Graph // Proceedings of SIGGRAPH. 2007. 26 (3). P. 101–111.

## Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя с ШИМ в пакете SimPowerSystems

Емельянов Александр Александрович, доцент;

Бесклеткин Виктор Викторович, ассистент;

Устинов Артем Павлович, студент;

Патерило Александр Сергеевич, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Авдеев Александр Сергеевич, студент

Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва)

Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент

Уральский государственный горный университет (г. Екатеринбург)

Целью данной работы является овладение технологией сборки модели прямого пуска асинхронного двигателя с ШИМ в пакете SimPowerSystems для использования в лабораторных работах по дисциплинам «Математическое моделирование электромеханических систем» и «Электрический привод». За основу принята математическая модель из электронного ресурса [1]. Показаны пути поиска разделов необходимых элементов схемы электропривода, позволяющих студентам без больших по-

тер времени получить необходимые характеристики. Полезные рекомендации по работе в SimPowerSystems даны в работах [2], [3], [4], [5].

Общая схема модели электропривода приведена на рис. 1.

Блок асинхронного двигателя (Asynchronous Machine SI Units) находится в разделе Machines библиотеки SimPowerSystems (рис. 2). Напряжения с ШИМ поступают на асинхронный двигатель через блоки согласования Simu-

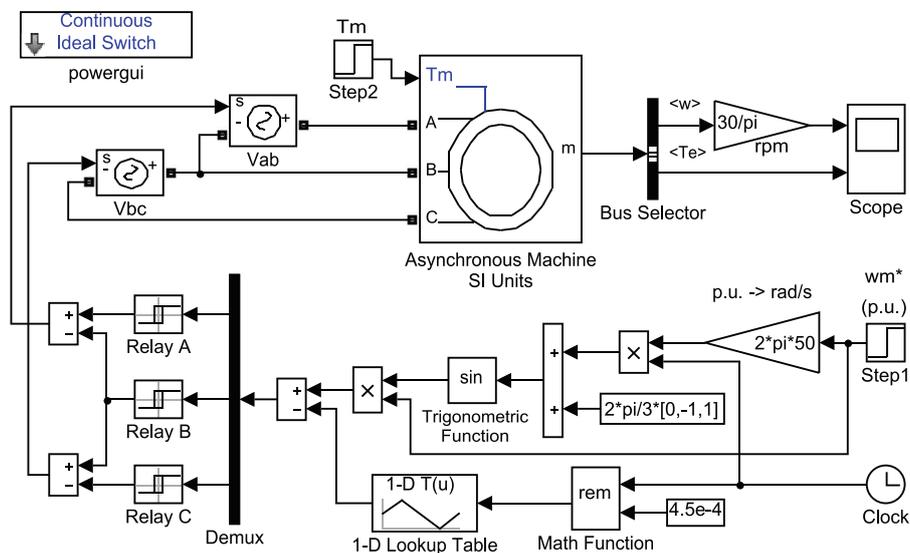


Рис. 1. Электропривод на базе трехфазного асинхронного двигателя с ШИМ

link и SimPowerSystems Vab и Vbc (Controlled Voltage Source) из раздела Electrical Sources (рис. 2).

Параметры асинхронного двигателя представлены на рис. 3. Параметры блоков Vab и Vbc задаются нулевыми.

Задание скорости  $\omega_m^*$  производится блоком Step1, наброс нагрузки  $T_m$  — блоком Step<sup>2</sup> (библиотека Simulink, раздел Sources). Параметры этих блоков даны на рис. 4.

Блок Gain, а также блоки Math Function и Trigonometric Function находятся в разделе Math Operations библиотеки Simulink (рис. 5). Блок одномерной матрицы 1-D Lookup Table — в разделе Lookup Tables (рис. 5). Параметры этих блоков даны на рис. 6.

В источнике временного сигнала Clock (раздел Simulink/Sources) следует установить параметр Decimation равным 10. С помощью блока Constant с выражением  $2 \cdot \pi / 3 \cdot [0, -1, 1]$  обеспечивается сдвиг трехфазных синусоидальных напряжений на  $120^\circ$ .

В блоках Relay (раздел Simulink/Discontinuities) по фазам A, B и C задаются одинаковые параметры, приведенные на рис. 7.

Блок шинного селектора (Bus Selector) предназначен для измерения характеристик машины. В библиотеке Simulink раскрываем следующий путь до группы блоков

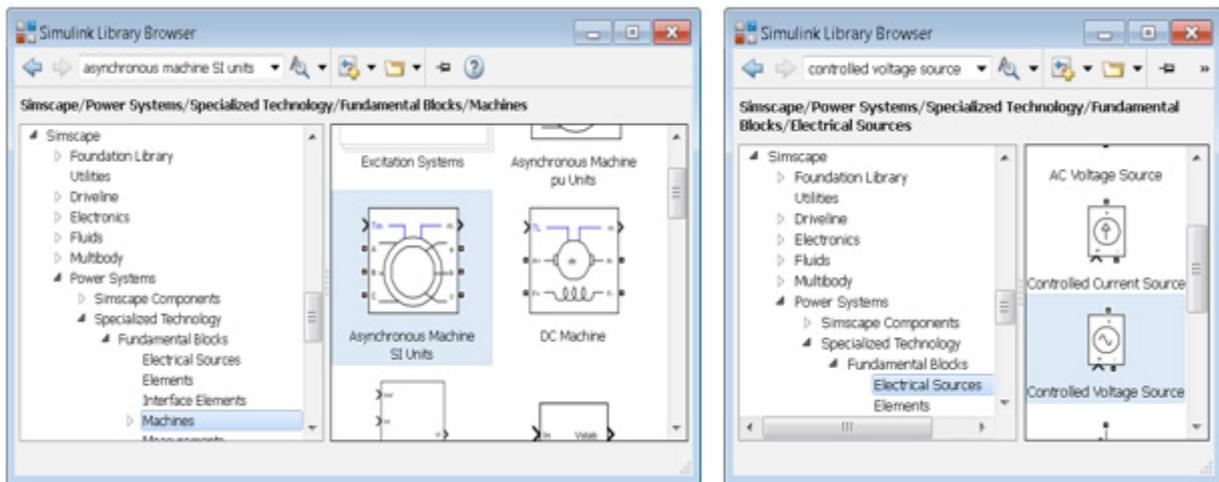


Рис. 2. Расположение блоков асинхронного двигателя (Asynchronous Machine SI Units) и согласования Simulink и SimPowerSystems (Controlled Voltage Source)

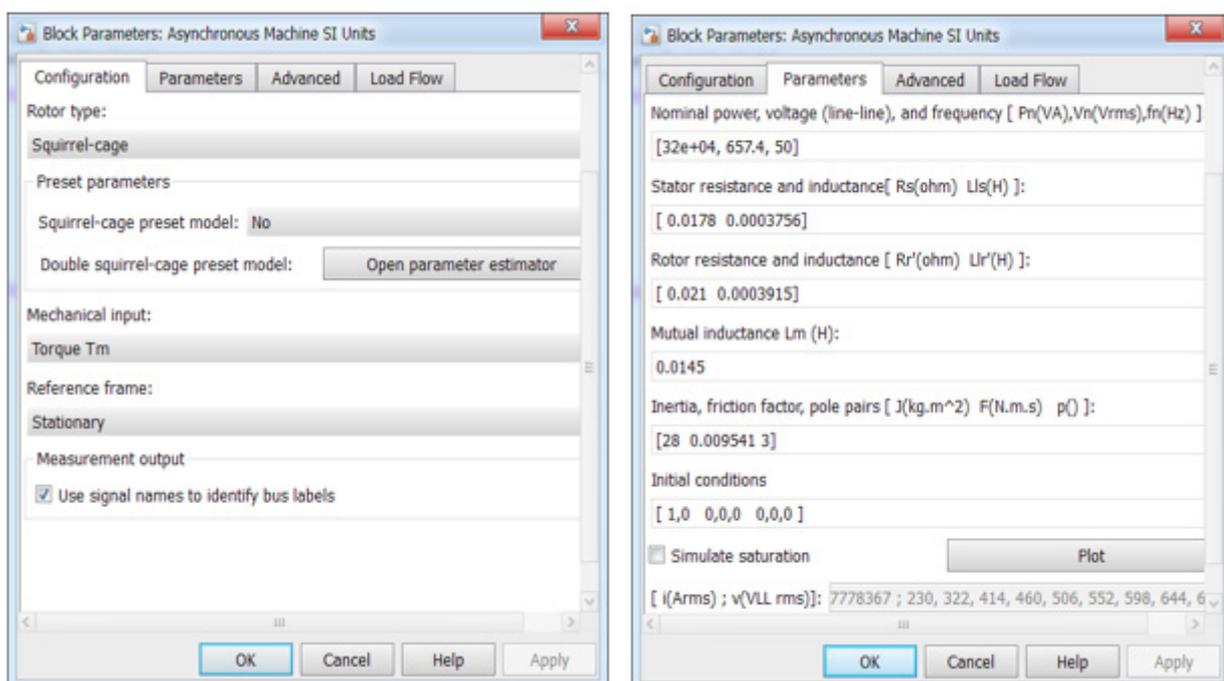


Рис. 3. Параметры асинхронного двигателя

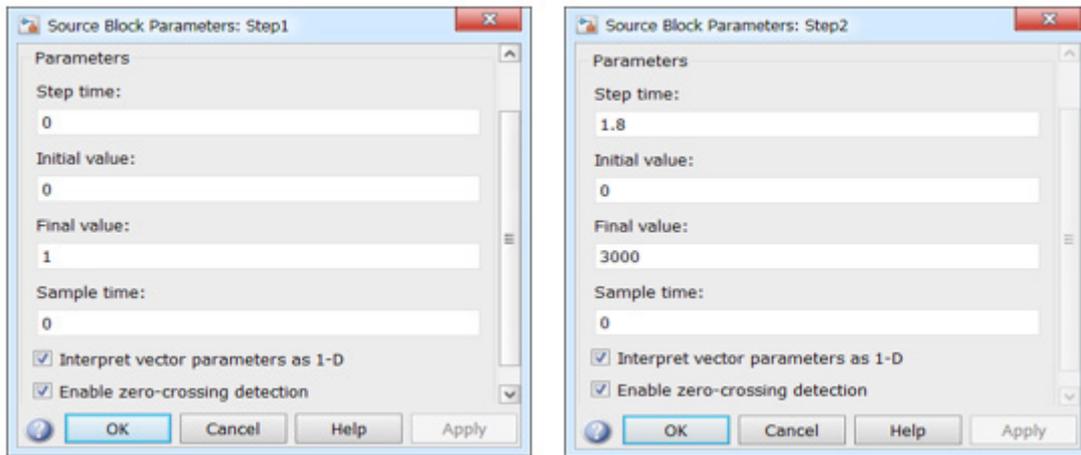


Рис. 4. Параметры блоков задания скорости (Step 1) и наброса нагрузки (Step 2)

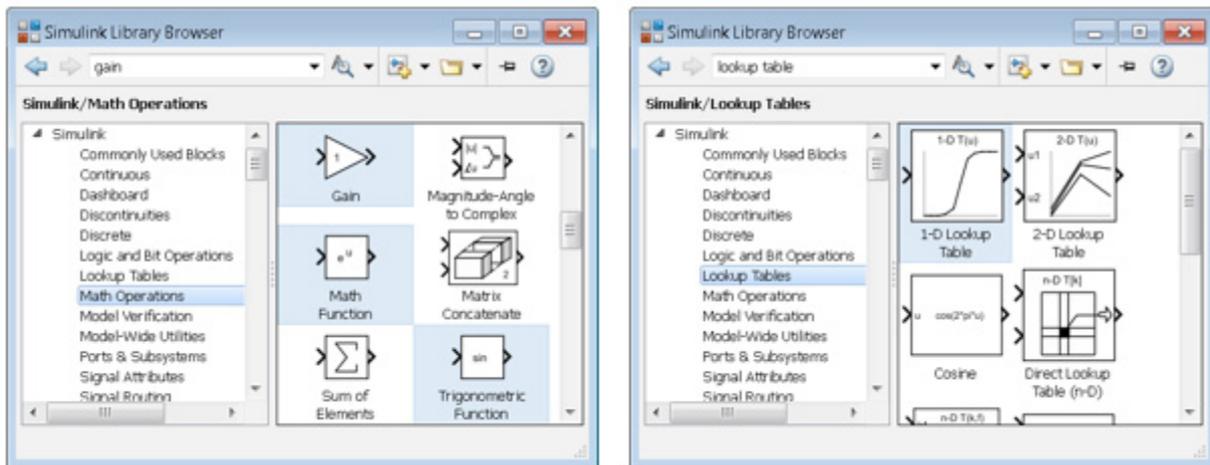


Рис. 5. Расположение блоков Gain, Math Function, Trigonometric Function и 1-D Lookup Table

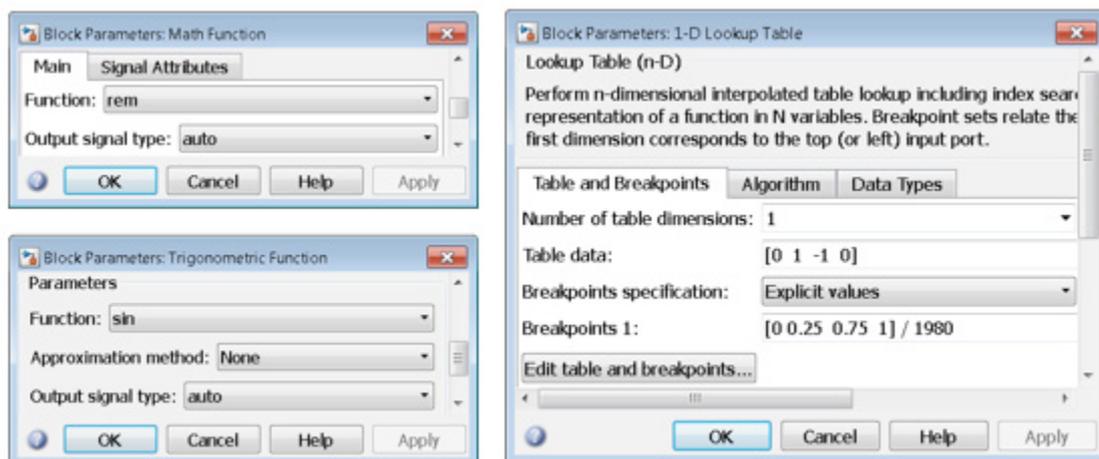


Рис. 6. Параметры блоков Math Function, Trigonometric Function и 1-D Lookup Table

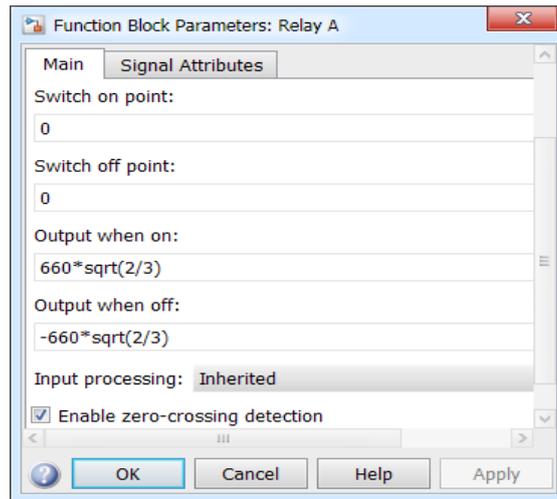


Рис. 7. Параметры блоков Relay A, B и C

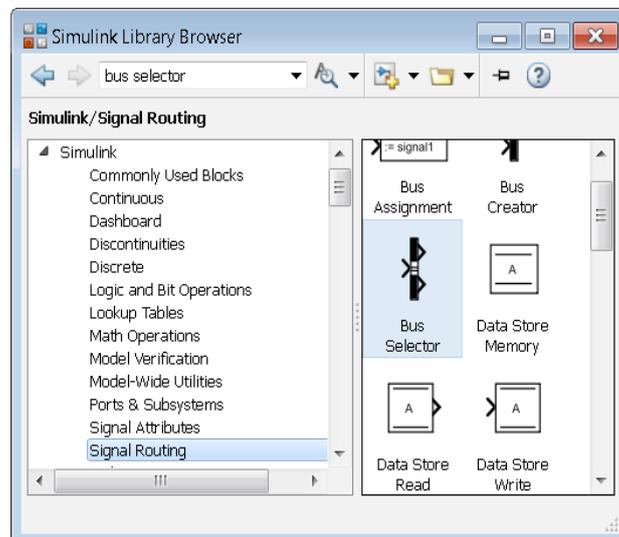


Рис. 8. Расположение блока Bus Selector в окне библиотеки Simulink

«Разводка сигнала» (Signal Routing) (рис. 8). Переносим блок Bus Selector на рабочее поле.

Открываем блок шинного селектора. Из списка механических характеристик (Mechanical) выбираем электромагнитный момент (Electromagnetic torque  $T_e$  (N\*m)) и скорость вращения ротора (Rotor speed (wm)) и добавляем их в список выбранного (Selected signals) кнопкой Select (рис. 9).

Для перевода скорости из рад/с в об/мин необходимо добавить блок Gain и установить в нём значение  $30/\pi$ .

Для работы модели необходим блок Powergui (раздел Fundamental Blocks библиотеки SimPowerSystems), параметры которого приведены на рис. 10.

Результаты моделирования электропривода на базе трехфазного асинхронного двигателя с ШИМ даны на рис. 11.

*Примечания:*

1. Во избежание ошибок при запуске расчета модели необходимо открыть меню Simulation, выбрать Model Configuration Parameters. В открывшемся окне в меню Diagnostics перейти к пункту Connectivity и установить значение Mux blocks used to create bus signals: еггог, как показано на рис. 12.
2. Паспортные данные двигателя приняты из работы [6].

*Номинальные данные:*

Номинальный режим работы

S1;

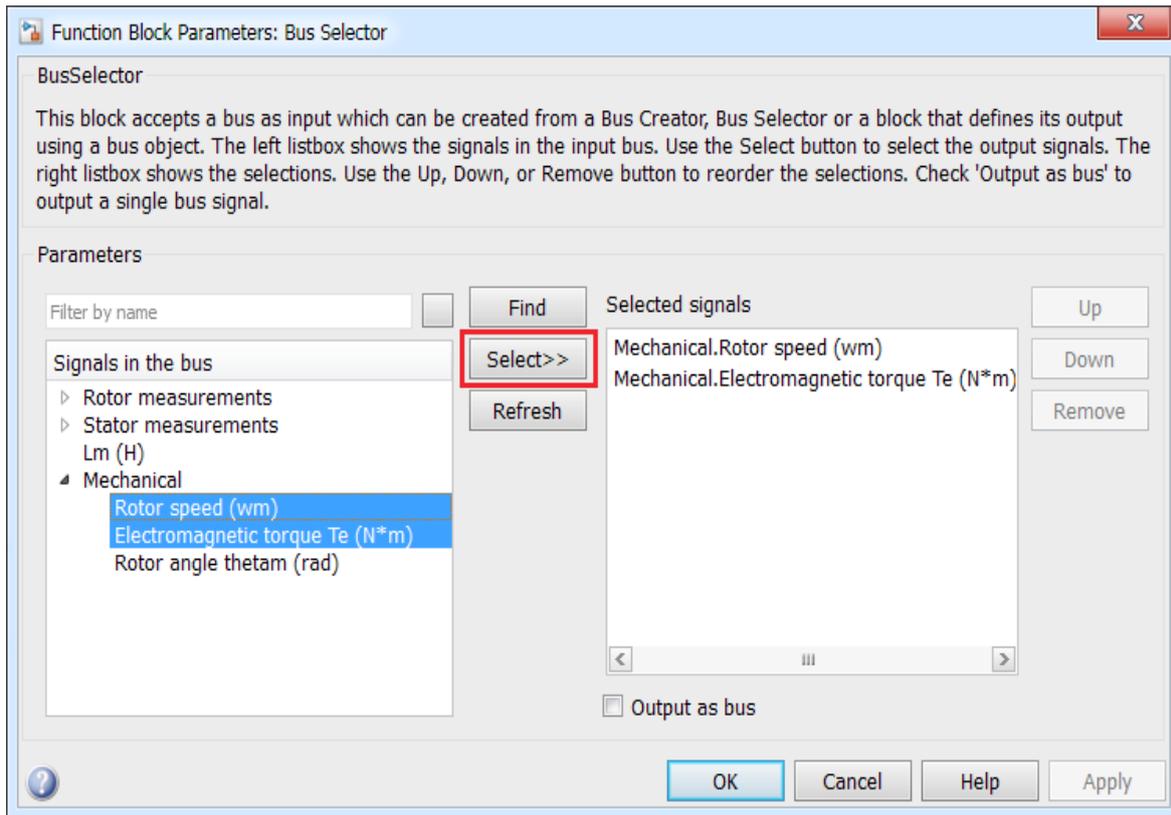


Рис. 9. Выбор характеристик в блоке Bus Selector

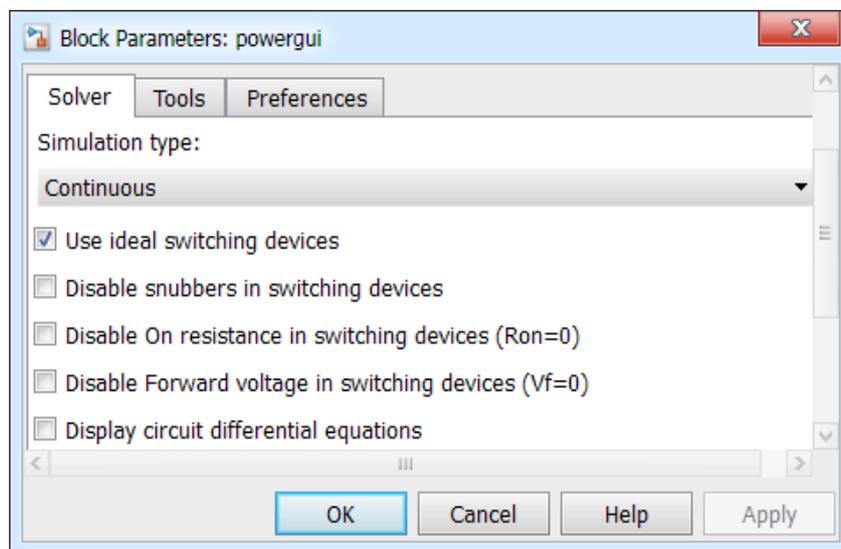


Рис. 10. Параметры блока Powergui

Номинальная мощность

$$P_N = 320 \text{ кВт};$$

Номинальное фазное напряжение

$$U_{s,N} = 380 \text{ В};$$

Номинальный фазный ток

$$I_{s,N} = 324 \text{ А};$$

Номинальная частота

$$f_N = 50 \text{ Гц};$$

Номинальная синхронная скорость

$$\Omega_{0N} = 104,7 \text{ рад/с};$$

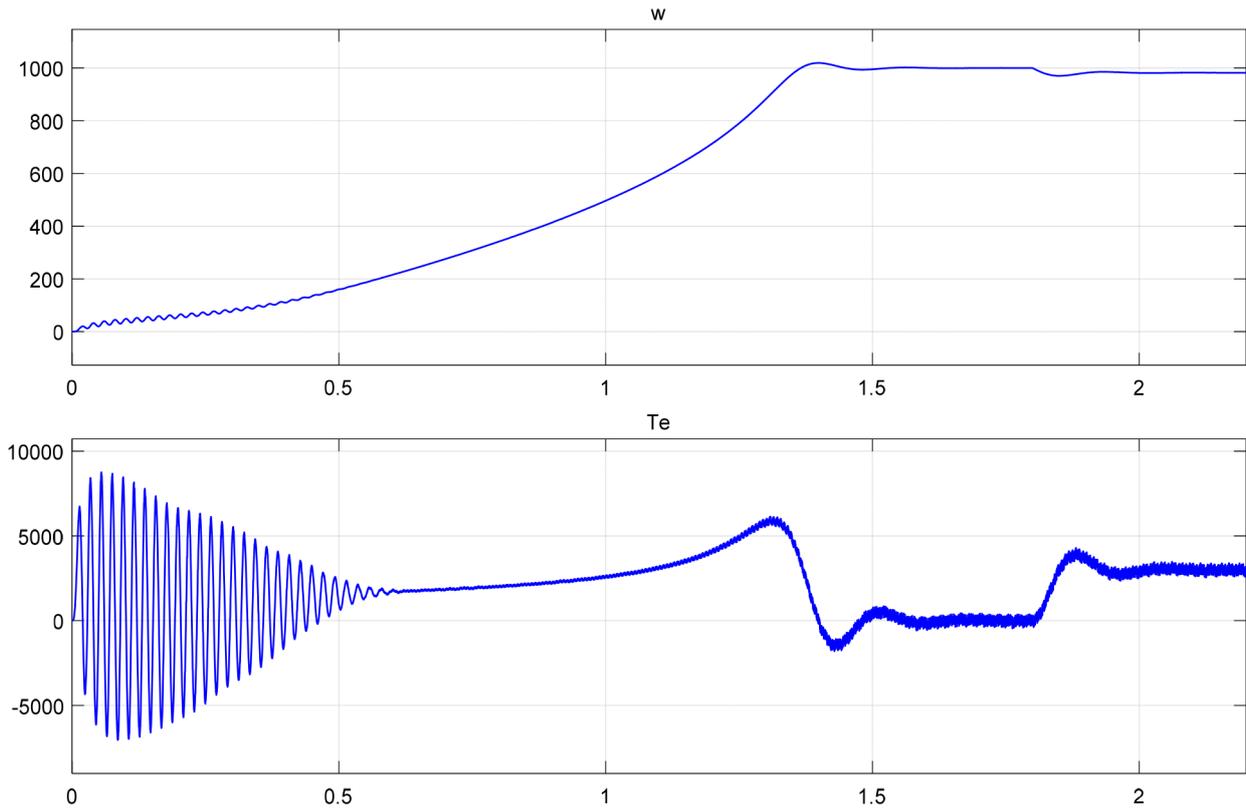


Рис. 11. Графики скорости ( $w$ ) и электромагнитного момента ( $T_e$ ) с набросом нагрузки на двигатель при  $t = 1,8$  с

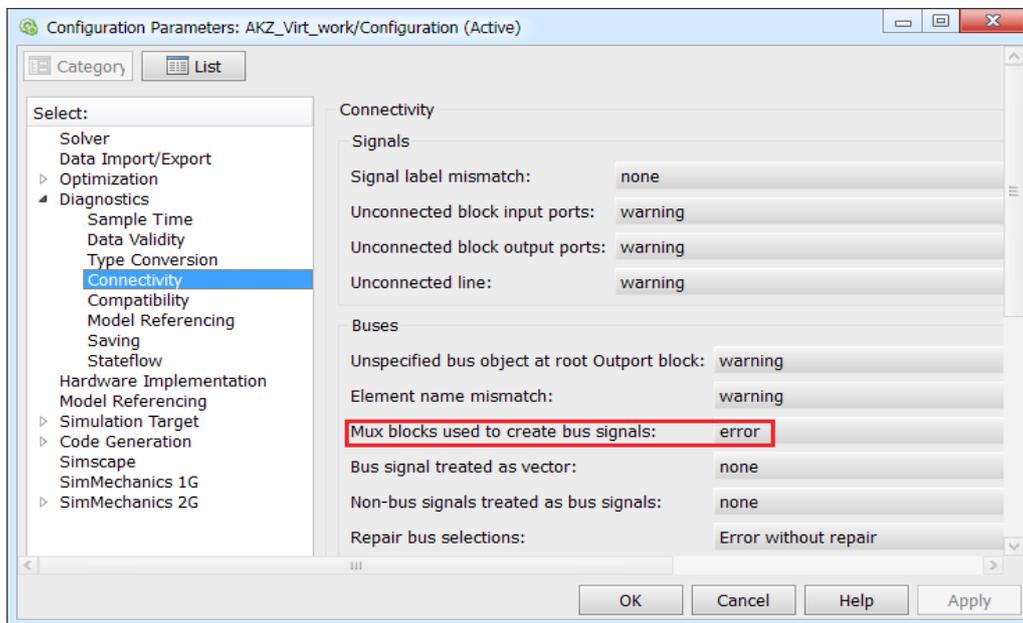


Рис. 12. Окно параметров модели

Номинальная скорость ротора

$$\Omega_N = 102,83 \text{ рад/с;}$$

Номинальный КПД

$$\eta_N = 0,944;$$

Номинальный коэффициент мощности

$$\cos \varphi_N = 0,92;$$

Число пар полюсов

$$z_p = 3.$$

Параметры T-образной схемы замещения при номинальной частоте:

|   |  |
|---|--|
| Активное сопротивление обмотки статора                                    | $R_s = 0,0178 \text{ Ом};$                     |
| Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора                       | $X_{s\sigma} = 0,118 \text{ Ом};$              |
| Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору              | $R_r = 0,0194 \text{ Ом};$                     |
| Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к статору | $X_{r\sigma} = 0,123 \text{ Ом};$              |
| Главное индуктивное сопротивление   | $X_m = 4,552 \text{ Ом};$                      |
| Индуктивность рассеяния обмотки статора                                   | $L_{s\sigma} = 0,0003756 \text{ Гн};$          |
| Индуктивность рассеяния обмотки ротора                                    | $L_{r\sigma} = 0,0003915 \text{ Гн};$          |
| Суммарный момент инерции двигателя и механизма                            | $J_{\Sigma} = 28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$ |

Литература:

1. Simscape Power Systems Examples [Электронный ресурс] // MathWorks. — Режим доступа: [www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples.html](http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples.html).
2. Герман-Галкин, С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. — СПб.: КОРОНА-Век, 2008. — 368 с.
3. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. — СПб.: КОРОНА принт, 2007. — 320 с.
4. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. — М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. — 288 с.
5. Терёхин, В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — 292 с.
6. Шрейнер, Р.Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р.Т. Шрейнер, А.В. Костылев, В.К. Кривовяз, С.И. Шилин. Под ред. проф. д. т. н. Р.Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. — 361 с.

# ИНФОРМАТИКА

## Обзор существующих систем планирования и управления летной работой

Дошина Анна Дмитриевна, студент

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М. И. Платова

*В данной статье речь пойдет о различных, существующих на сегодняшний день, системах автоматизации процессов планирования и управления летной работой авиакомпании. Будут рассмотрены их особенности, достоинства и недостатки.*

**Ключевые слова:** планирование летной работы, управление летной работой, бизнес-процессы в работе авиакомпании, автоматизация в гражданской авиации, автоматизированные системы управления летной работой, системы поддержки принятых решений

Автоматизированные системы управления летной работой помогают эффективному распределению ресурсов авиакомпании. Данные системы осуществляют процесс поддержки принятия решений в процессе планирования летной работы.

В связи с тем, что программное обеспечение планирования и управления летной работой авиакомпании является узкоспециализированным, в свободном доступе можно найти не большое количество прототипов. Рассмотрим принципы построения некоторых из них.

### 1. Автоматизированная система «Экипаж»

Автоматизированная система планирования и управления летной работой АС «Экипаж» производства РИВЦ-ПУЛКОВО. Система предназначена для организации долгосрочного и краткосрочного планирования, оперативного управления, учета и анализа летной работы подразделений авиакомпании.

Система разработана с применением сложных математических алгоритмов и снабжена мощными современными графическими средствами отображения и управления информацией. Система позволяет организовать процесс планирования и управления летной работой, службой бортпроводников, инженерно-авиационной службой и любых других подразделений авиакомпании, личный состав которых включается в состав экипажа, выполняющего рейс.

Это достигается путем динамического разделения функциональности системы на несколько самостоятельных алгоритмов (веток) с учетом особенностей работы каждого подразделения. В состав АС «Экипаж» входят следующие модули:

1. Модуль Crew/Data обеспечивает ведение нормативно-справочной информации (НСИ), необходимой для планирования и управления летной работой в авиакомпании.
2. В модуле Crew/Personal реализованы функции ввода, хранения и контроля данных о личном составе авиакомпании: допуски, обучение, проверки, персональный налет, отпуска, листы нетрудоспособности и т. п.
3. Модуль Crew/Planning обеспечивает функции долгосрочного и краткосрочного планирования и управления летной работой. В нем реализованы сложные многофакторные алгоритмы автоматического формирования связок рейсов, распределения связок рейсов и резервов по подразделениям авиакомпании,
4. Модуль Crew/Tracking оперативного управления реализует функции контроля прохода экипажей на борт воздушного судна (диспетчер старта) и оперативного оповещения летного состава об изменениях в плане работы на ближайшее время (call-центр) с возможностью ведения протокола оповещений.
5. Модуль Crew/Analysis предназначен для формирования аналитических отчетов по персоналу и летной работе.
6. Модуль Crew/Processing предназначен для обработки заданий на полет, заданий кабинному экипажу, учебно-тренировочных заданий.
7. Модуль Crew/Salary предназначен для использования в отделе труда и заработной платы авиакомпании, обеспечивает расчет сдельной заработной платы и компенсационных выплат (суточных) летно-подъемному составу, основываясь на данных о налете и рабочем времени, полученных после обработки заданий на полет.

8. Личный кабинет (Crew/Cabinet) — это интернет-приложение, позволяющее сотрудникам авиакомпании оперативно получать информацию в удаленном режиме, по персональным планам работы и отдыха на период, фактически выполненным рейсам, рабочему времени и налету часов, срокам действия допусков/ограничений/проверок.

9. Модуль Crew/WebTraining предназначен для проведения обучения и контроля знаний сотрудников авиакомпании: ведение электронной библиотеки документов с возможностью создания сложной иерархической структуры разделов, формирование тестов, назначение сотрудникам заданий на ознакомление с документами и прохождение тестирования.

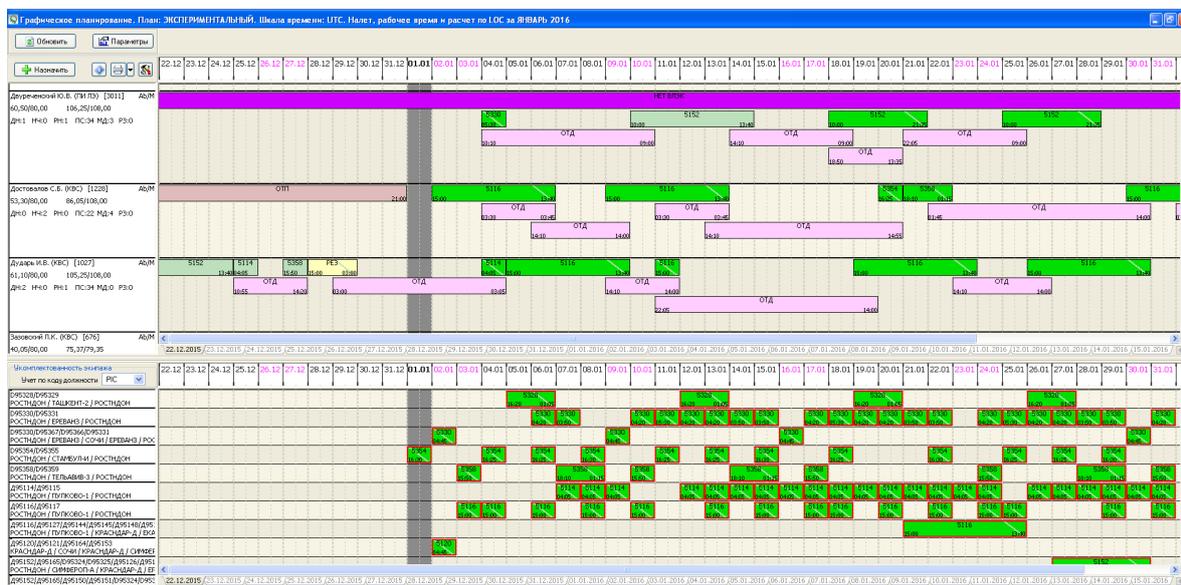


Рис. 1. Интерфейс формы «Оборот экипажей» в системе пользователя АС «Экипаж»

## 2. Интегрированная автоматизированная система «Meridian»

ИАС «Meridian» — интегрированная автоматизированная система, которая позволяет решать задачи составления и оптимизации регулярного и чартерного расписания, планирование и управление воздушным парком и летным составом авиакомпании, а также обеспечивает доступ персонала ко всей необходимой производственной информации.

В состав системы входят следующие модули:

1. Meridian. Net — оснащена современными функциональными возможностями составления расписания, обладает высокой производительностью и предоставляет механизм для ведения нескольких проектов расписания на одну и ту же навигацию.

2. Подсистема Meridian. OPS предназначена для предварительного планирования расстановки парка ВС, управления суточным планом полетов и контроля за ходом выполнения подготовки ВС к вылету.

3. Подсистема Meridian. Crew предназначена для автоматизации процессов подготовки и планирования летного состава авиакомпании в соответствии с нормативной базой по организации летной работы.

4. Подсистема Meridian. Nav представляет собой инструмент для ведения базы данных выполненных инженерно-штурманских расчетов.

5. Meridian. Mobile представляет собой инструмент для контроля обслуживания ВС и упрощение таких задач

как: автоматизация и формализация передачи данных, сбор временных и количественных данных об операциях обслуживания ВС и пассажиров, формирование сообщений о задержках и табло движения ВС, информирование персонала на перроне, контроль доставки сообщений.

6. Meridian. Web представляет собой сайт системы Meridian, предназначенный для быстрого и легкого доступа к наиболее часто запрашиваемой информации и в соответствии с требованиями IOSA.

7. Meridian. LMS предназначен для организации обучения и проверки знаний персонала с помощью системы тестирования, проведения анализа результатов с возможностью внесения изменений в программу и предлагаемые тесты.

## 3. Автоматизированная система управления ASNext

Автоматизированная система управления производственной деятельностью авиапредприятия ASNext комплексно решает задачи производственных служб: планирование, учет, контроль и анализ авиатранспортных процессов. В состав АСУ «ASNext» входят следующие модули:

1. ASNextAir — автоматизированная система управления экономической деятельностью авиакомпании.

2. ASNextCrew — автоматизированная система управления летной работой авиакомпании, которая реа-

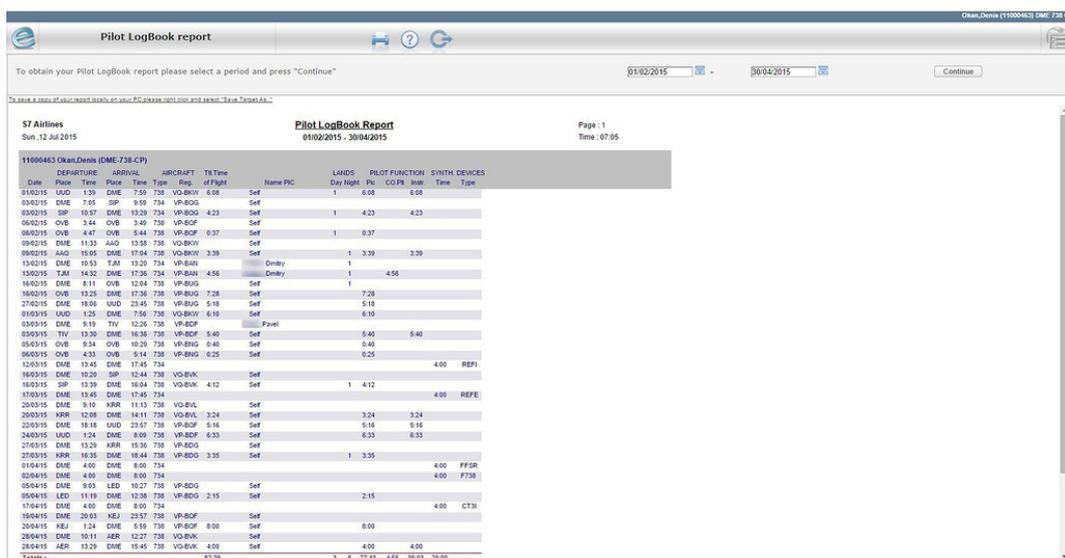


Рис. 2. Интерфейс формы «План полетов» в ИАС «Meridian»

лизует следующие функции: учет и контроль сведений по летному составу, планирование летной работы в летной службе, планирование летной работы бортпроводников, расчет налета и оплаты летного труда.

3. ASNextOPS — автоматизированная система управления полетами авиакомпании.

4. ASNextAgencyNet — автоматизированная система управления агентской сетью авиакомпании.

5. ASNextITP — автоматизированная система управления инженерно-техническим персоналом.

6. ASNextEITP — автоматизированная система планирования и контроля объема исполняемых работ.

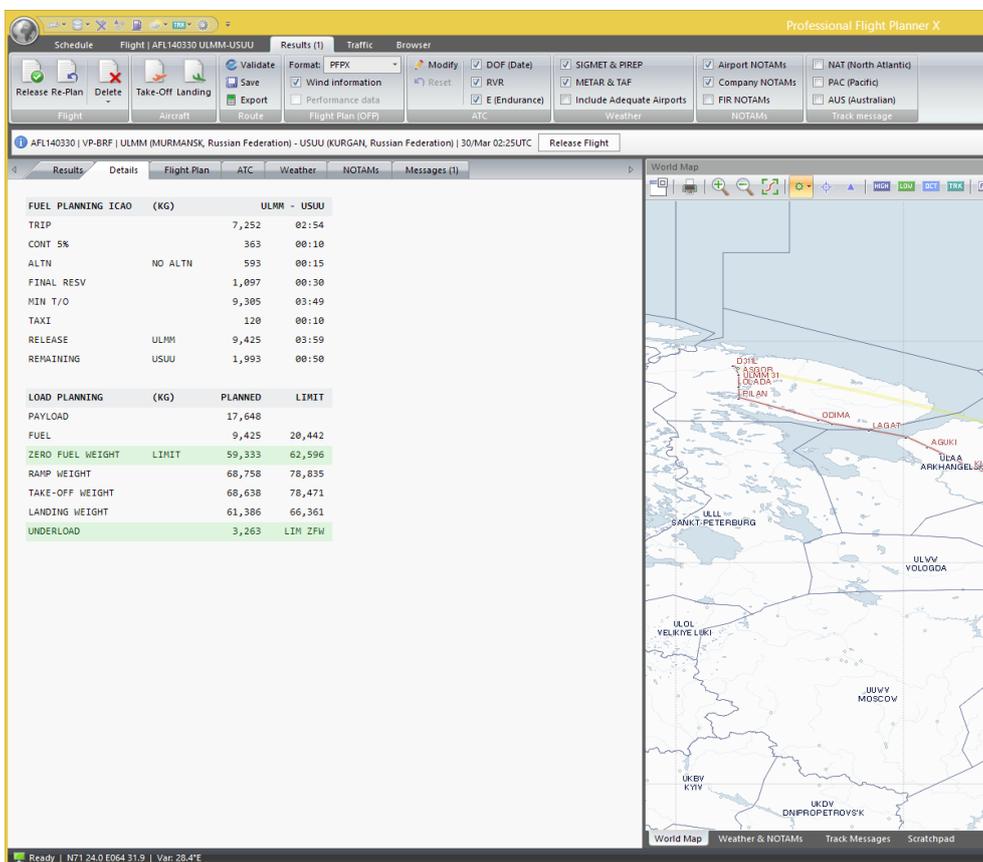


Рис. 3. Интерфейс формы «Расписание» в АСУ ASNext

Таблица 1. Сравнительный анализ прототипов

|   | АС «ЭКИПАЖ» | ИАС «Meridian» | АСУ «ASNEXT» |
|---|-------------|----------------|--------------|
| Ведение нормативно-справочной информации системы    | +           | +              | +            |
| Управление персоналом                               | +           | +              | +            |
| Планирование и управление летной работой            | +           | +              | +            |
| Оперативное управление                              | +           | -              | -            |
| Анализ и отчетность                                 | +           | +              | +            |
| Обработка полетных документов                       | +           | +              | +            |
| Расчет сдельной заработной платы ЛПС                | +           | -              | -            |
| Личный кабинет                                      | +           | +              | -            |
| Обучение и контроль знаний сотрудников авиакомпании | +           | +              | -            |

### Сравнительный анализ рассмотренных систем

Выше были рассмотрены 3 самые известные на сегодняшний день системы планирования и управления летной работой. Несомненно, каждая из них обладает большим разнообразием функций, эффективно выполняет свое предназначение и занимают свое место на рынке подобных систем.

1. АС «ЭКИПАЖ».
2. ИАС «Meridian».
3. АСУ «ASNEXT».

Анализ проводился по различным характеристикам. Были выявлены как положительные, так и отрицательные

черты. В целом функциональные возможности рассматриваемых прототипов идентичны. Ниже приведена таблица, в которой приведен сравнительный анализ рассматриваемых автоматизированных систем.

### Выводы

Все рассмотренные системы обладают отличным функционалом и идеально подходят для использования в крупных авиакомпаниях. Однако, они очень объемны и сложны в использовании. Рассмотренные системы обладают высокой стоимостью, а также их достаточно сложно быстро адаптировать под нужды небольших авиакомпаний.

### Литература:

1. Обзор системы организации долгосрочного и краткосрочного планирования, оперативного управления, учета и анализа летной работы подразделений авиакомпании «Экипаж». URL: <http://www.rivc-pulkovo.ru>.
2. Обзор системы планирования ресурсов авиакомпании и управления летной работой «Meridian». URL: <http://midtdata.ru>.
3. Обзор системы управления производственной деятельностью авиапредприятия. URL: <http://asnnext.aero>.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## Формирование нейронной сети

Астафьева Виктория Владиславовна, студент  
Московский технологический университет

*В статье рассмотрены вопросы истории становления и развития нейро-сетевых парадигм, формирование (создание) нейронной сети.*

**Ключевые слова:** история, искусственный интеллект, философия, логика, нейронные сети, основные модели нейронных сетей, нейропакет

Современные компьютеры устроены по так называемой схеме фон-Неймана, реализующей быструю последовательность большого числа бинарных операций. Вероятно, такой подход отчасти был обусловлен структурой математики первой половины XX в., когда высшие разделы математики опирались на арифметику, а последняя — на бинарную логику. Понятно, что если бы за основу было взято что-то иное, а не булева алгебра, могли бы получиться существенно иные компьютеры.

В качестве основной альтернативы подходу Дж. фон-Неймана обсуждалась ориентация на воспроизведение принципов работы биологических нейронных сетей. Примерно в те же годы, что и первый компьютер, была создана первая нейроподобная система — песептрон Розенблатта. Некоторое время оба направления — Дж. фон-Неймана и Ф. Розенблатта — развивались независимо, затем перцептронное направление пережило кризис и возродилось уже в 80-е годы под именем нейронных сетей, при этом на новом этапе бинарно-логический и бионический принципы стали сочетаться. Интересно, что кризис бионического направления во многом был обусловлен не техническими сложностями и не отсутствием приложений, а содержательным математическим рассмотрением, проведенным М. Минским и С. Пейпертом, — они показали, что не существует перцептрона, способного надежно определять топологические характеристики образа, такие, как связность, и этого оказалось достаточно для резкого падения первоначального энтузиазма.

Рассмотрим эволюцию отдельных разделов тех наук, которые внесли свой вклад в появление искусственного интеллекта. Исторически впервые вопросы, связанные с процессами мышления, начали исследовать в философии.

Принципы, руководящие рациональной частью мышления, были определены Аристотелем (384-322 годы до

н. э.). Он разработал неформализованную систему силлогизмов, предназначенную для проведения правильных рассуждений [1].

Гораздо позднее Раймунд Луллий (умер в 1315 году) выдвинул идею, что полезные рассуждения можно фактически проводить с помощью механического устройства. Томас Гоббс (1588–1679) проводил аналогию между нашими рассуждениями и числовыми расчетам, отмечая, что «в наших неслышимых мыслях мы поневоле складываем и вычитаем» [3].

Рене Декарт (1596-1650) впервые опубликовал результаты обсуждения различий между разумом и материей, а также представляющиеся при этом проблемы.

Философия сформулировала наиболее важные положения, управляющие рациональной частью мышления, но для их формализации требовались фундаментальные исследования в другой науке — математике. На протяжении нескольких столетий эти исследования проводились параллельно, взаимно обогащая обе науки. Для искусственного интеллекта наибольшее влияние оказало развитие таких разделов математики как логика, вычисления и вероятность.

Хотя идеи формальной логики зародились еще у философов древней Греции [5], её основоположником принято считать Джорджа Буля (1815-1864), который детально разработал логику высказываний, названную в честь него булевой алгеброй [2].

Кроме логики и теории вычислений, третий по величине вклад математиков в искусственный интеллект состоял в разработке теории вероятностей.

Концепция вероятности была впервые сформулирована итальянским математиком Джероламо Кардано (1501–1576), который описал ее в терминах результатов событий с несколькими исходами, возникающих в азартных играх. Пьер Ферма (1601-1665), Блез Паскаль

(1623–1662), Джеймс Бернулли (1654–1705), Пьер Лаплас (1749–1827) и другие ученые внесли большой вклад в эту теорию и ввели новые статистические методы. Томас Байес (1702–1761) предложил правило обновления вероятностей с учетом новых фактов.

Значительный прорыв произошел в 20 веке, он связан с:

1. достижениями в области нейрофизиологии, нейроанатомии и психологии;
2. интеграцией достижений различных наук в новейшую область науки — искусственный интеллект.

В шестидесятые годы прошлого столетия группа исследователей в областях нейробиологии и нейроанатомии установила, что мозг - это сотни миллиардов нейронов соединенных друг с другом [6].

Понимание функционирования нейрона и его связей позволило исследователям создать математические модели, которые, в свою очередь, явились теоретическим основанием для создания искусственных нейронных сетей. Первые такие сети были реализованы в виде электронных схем.

Позднее, в связи с развитием вычислительной техники искусственные нейронные сети стали реализовываться в виде программ. Поскольку в искусственном интеллекте систематизируются и автоматизируются интеллектуальные задачи любой сферы интеллектуальной деятельности человека, искусственный интеллект становится поистине универсальной научной областью. Таким образом сделаем вывод, что же такое нейронные сети.

Нейронные сети — математические прототипы (модели), а также их программные или аппаратные реализации, построенные по организационному принципу и функционированию биологических нейронных сетей - сетей нервных клеток живого организма [5].

В современном развитии нейронных сетей можно выделить несколько этапов.

- 1 этап — прорыв в области нейроинтеллекта;
- 2 этап — пессимизм.

Причины:

1. Сети не могли решать задачи, внешне весьма сходные с теми, которые они успешно решали.

2. Однослойные сети теоретически неспособны решить многие простые задачи, в том числе реализовать функцию «исключающее ИЛИ».

3. В 1969 году исследователь с мировым именем М. Минский публикует формальное доказательство ограниченности перцептрона, а соответственно, и его неспособность решать достаточно широкий круг задач.

Все это вместе взятое приводит к снижению интереса многих исследователей к нейронным сетям.

- 3 этап — оптимизм.

Благодаря исследованию таких ученых, как Кохонен, Гроссберг, Андерсон, сформировался теоретический фундамент, на основе которого стало возможно конструирование мощных многослойных сетей. Однако проблема заключалась в их обучении.

В 1974 г. был разработан П. Вербосом алгоритм обратного распространения ошибки для обучения многослойных перцептронов, переоткрытый вновь в 1982 г. Д. Паркером и в 1986 году Дэвидом И. Румельхартом, Дж. Е. Хинтоном и Рональдом Дж. Вильямсом и независимо и одновременно С. И. Барцевым и В.А. Охониным (Красноярская группа) [4].

Этот систематический метод для обучения многослойных сетей преодолевает ограничения, указанные Минским. Дальнейшие исследования показали, что этот метод не является универсальным, несмотря на многие успешные практические результаты. Проблема заключается в очень долгом процессе обучения, а в отдельных случаях сеть может вообще не обучиться. Последнее возможно по двум причинам: паралич сети и попадание в локальный минимум.

Следующей проблемой искусственных нейронных сетей оказалась проблема стабильности-пластичности, суть которой в том, что обучение новому образцу уничтожает или изменяет результаты предшествующего обучения. Сети и алгоритмы АРТ сохраняют пластичность, необходимую для изучения новых образов, в то же время, предотвращая изменение ранее запомненных образов.

2000-е годы — проблема попадания в локальный минимум была решена, к примеру, применением стохастических методов обучения: Больцмановское обучение/ Обучение Коши.

В 2007 году Джеффри Хинтон создает в университете Торонто алгоритмы глубокого обучения многослойных нейронных сетей.

Успех вызван тем, что Хинтон при обучении нижних слоев сети использовал ограниченную машину Больцмана (RBM — Restricted Boltzmann Machine). На сегодня разработано достаточно много других моделей нейронных сетей, имеющих свои особенности.

В современном обществе многие проблемы сводятся к проблемам управления слабоструктурированными, а часто и неструктурированными сложными системами. Поэтому оценить перспективы развития нейронных сетей можно, лишь определив их место в решении данной проблемы [4, 7, 5].

Существующие в настоящее время системы управления можно классифицировать следующим образом:

1. Классическая система управления, построенная на основе теории автоматического управления с различными математическими методами обработки данных.
2. Управленческая система, построенная на основе нечеткой логики и экспертных систем.
3. Системы управления на основе генетических алгоритмов и искусственных нейронных сетей.

Для реализации в действительности различных практических задач требуются разные модели нейронных сетей. Модель нейронной сети определяется моделями нейронов и структурой связей сети.

Имитирующие программы на основе структуры связей реализуют следующие группы нейронных сетей:

1. Многослойные нейронные сети. В таких сетях нейроны делятся на группы с общим входным сигналом — слои. Различают несколько типов связей между слоями:

- последовательные;
- прямые;
- обратные.

Связи между нейронами одного слоя называют латеральными (боковыми).

2. Полносвязные нейронные сети. Любой отдельно взятый нейрон в полносвязных сетях связан со всеми остальными. На каждом такте функционирования сети на входы нейронов подается внешний входной сигнал и выходы нейронов предыдущего такта [5].

3. Сети нейронов с локальными связями. Нейроны в таких сетях располагаются в узлах прямоугольной или гексагональной решетки. Каждый нейрон связан с небольшим числом своих топологических соседей, например, 4, 6 или 8.

4. Неструктурированные нейронные сети. К данной группе принадлежат все модели нейронных сетей, которые нельзя отнести ни к одной из предыдущих групп.

Модели реализуемых программами-имитаторами нейронов чрезвычайно разнообразны. В простейшем случае нейроны первого порядка выполняют взвешенное суммирование компонентов входного вектора и нелинейное преобразование результата суммирования. В моделях нейронов используются различные варианты нелинейных преобразований. Наиболее часто используются сигмоидальные, кусочно-линейные и пороговые функции активации. В сети все нейроны могут иметь как одинаковые (гомогенная сеть), так и различные функции активации (гетерогенная сеть) [6].

Для построения нейронной сети, ориентированной на решение конкретной задачи, используются процедуры формирования нейронных сетей, которые обеспечивают ввод указанных характеристик моделей нейронов и устройств нейронных сетей.

Группа моделей нейронных сетей может быть использована для решения лишь некоторого ограниченного класса практических задач. Так, многослойные и полносвязные нейронные сети с сигмоидальными передаточными функциями используются для распознавания образов и адаптивного управления; нейронные сети с локальными связями - для обработки изображений и некоторых других частных задач. Для решения задач линейной алгебры используются многослойные сети с особыми передаточными функциями [7].

Лишь для небольшого числа моделей нейронных сетей существует строгое математическое обоснование возможности их применения для решения конкретных практических задач. В наибольшей степени теоретически проработаны двухслойные нейронные сети с сигмоидальными передаточными функциями.

В большинстве программ-имитаторов предлагаются стандартные процедуры обучения нейронных сетей, ориентированные на конкретные нейропарадигмы.

Как правило, в нейропакетах реализуется возможность задания различных типов данных и различных размерностей входных и выходных сигналов в зависимости от решаемой задачи. В качестве входных данных в обучающей выборке могут использоваться растровые изображения, таблицы чисел, распределения. Типы входных данных — бинарные, биполярные числа, целые или действительные числа из некоторого диапазона. Выходные сигналы сети — векторы целых или действительных чисел.

Для решения практических задач часто требуются обучающие выборки большого объема. Поэтому в ряде нейропакетов предусмотрены средства, облегчающие процесс формирования и использования обучающих примеров. Однако в настоящее время отсутствует универсальная методика построения обучающих выборок и набор обучающих примеров, как правило, формируется индивидуально для каждой решаемой задачи.

В качестве функции ошибки, численно определяющей сходство всех текущих выходных сигналов сети и соответствующих требуемых выходных сигналов обучающей выборки, в большинстве случаев используется среднеквадратичное отклонение. Однако в ряде нейронных имитаторов существует либо возможность выбора, либо задания своей функции ошибки.

Осуществляемые в нейропакетах алгоритмы обучения нейронных сетей можно подразделить на три основные группы:

1. градиентные (первого и второго порядков);
2. стохастические;
3. генетические.

Первая группа алгоритмов основана на вычислении частных производных функции ошибки по параметрам сети. В стохастических алгоритмах поиск минимума функции ошибки ведется случайным образом. Генетические алгоритмы комбинируют свойства стохастических и градиентных алгоритмов: на основе аналога генетического наследования реализуют перебор вариантов, а на основе аналога естественного отбора — градиентный спуск.

При обучении нейронных сетей, как правило, используются следующие критерии останова:

- при достижении некоторого малого значения функции ошибки;
- в случае успешного решения примеров выборки обучения (при неизменности выходных сигналов сети).

В нейроимитаторах предусмотрено наличие специальных процедур инициализации перед обучением сети, т. е. присваивание параметрам сети некоторых малых независимых значений.

Обучение представляет, собой итерационную процедуру, которая при реализации на персональных компьютерах требует значительного времени. Скорость сходимости алгоритма обучения является одной из самых важных характеристик программ для моделирования нейронных сетей.

Для проверки правильности обучения построенной нейронной сети в нейроимитаторах предусмотрены специ-

альные средства ее тестирования. В сеть устанавливается некоторый сигнал, несовпадающий, как правило, ни с одним из входных сигналов примеров обучающей выборки. Далее анализируется получившийся выходной сигнал сети.

Тестирование обученной сети может проводиться либо на одиночных входных сигналах, либо на тестовой выборке, которая имеет структуру, аналогичную обучающей выборке, и также состоит из пар (<вход>, <требуемый выход>). Тестовая выборка строится индивидуально для каждой решаемой задачи.

Рассмотрим один из нейропакетов, предназначенных для реализации на персональных компьютерах в различных операционных средах, по степени их универсальности, а также с точки зрения простоты использования и наглядности представления информации.

NeuroSolutions предназначен для моделирования большого набора нейронных сетей. Основное его достоинство состоит в гибкости: помимо традиционных нейросетевых парадигм (полносвязных и многослойных НС, самоорганизующихся карт Кохонена) нейропакет включает в себя мощный редактор визуального проектирования нейронных сетей, позволяющий создавать любые нейронные структуры и алгоритмы их обучения, а также вводить собственные критерии обучения. NeuroSolutions имеет хорошие средства визуализации структур, процессов и результатов обучения и функционирования нейронных сетей. Это ставит данный нейропакет на уровень САД-систем (систем автоматизированного проектирования) проектирования и моделирования НС.

Пакет предназначен для работы Windows. Помимо средств взаимодействия с операционной системой (OLE), нейропакет снабжен генератором исходного кода и позволяет использовать внешние модули при создании и обучении нейронной сети. Пакет поддерживает программы, написанные на языке C++ для компиляторов Microsoft Visual C++ и Borland C++, а также в виде DLL-кода. Таким образом, NeuroSolutions является гибкой открытой системой, которую можно при необходимости дополнять и модифицировать. Пакет содержит встроенный макроязык,

позволяющий производить практически любую настройку под конкретную задачу.

В пакете реализуется большой перечень нейронов, включая взвешенный сумматор (нейрон первого порядка), нейроны высших порядков, а также непрерывный интегрирующий нейрон. Функция активации нейрона может быть выбрана из пяти стандартных (кусочно-линейная, функция знака и три типа сигмоидальных) функций, а также predetermined пользователем. Связи между нейронами задаются произвольно на этапе проектирования и могут быть изменены в процессе работы. Поддерживаются все, типы связей: прямые, перекрестные и обратные. При этом хорошо реализована схема организации связей: можно задать одну векторную связь с заданной весовой матрицей, а не набор скалярных связей с весовыми коэффициентами.

Нейропакет NeuroSolutions содержит мощные средства для организации обучающих выборок. Встроенные конвертеры данных поддерживают графические изображения в формате BMP, текстовые файлы с числовыми или символьными данными, а также функции непрерывного аргумента (например, времени), заданные в аналитическом виде или в виде выборки значений. Нейропакет позволяет использовать любые внешние конвертеры данных.

На этапе обучения может быть использован широкий круг критериев обучения, как дискретных, так и непрерывных. Помимо этого можно вводить собственные критерии. Можно использовать как встроенный алгоритм обучения типа back-propagation или дельта-правила, так и использовать собственный. Система визуализации процесса обучения позволяет проводить анализ изменения весов непосредственно в процессе обучения и вносить коррективы. Может быть введена шумовая характеристика как при тестировании, так и при обучении нейронной сети. Можно задать аддитивный белый шум, шум произвольной природы, а также любой заданный тип шума (например, белый мультипликативный). NeuroSolutions содержит генератор (мастер) стандартных нейросетевых архитектур (Neural Wizard, с помощью которого быстро задается архитектура, подбираете обучающая выборка, критерии и методы обучения нейронной сети.

#### Литература:

1. В. В. Круглов, М. И. Дли, Р.Ю.Голунов. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. Физматлит, 2001.
2. Вестник Волжского университета имени В. Н. Татищева № 1 (23) 2015.
3. Г. Э. Яхьяева. Основы теории нейронных сетей. Интернет-университет информационных технологий, изд-во «Открытые системы».
4. Д. А. Тархов. Нейронные сети. Модели и алгоритмы. (Справочник.) М., Радиотехника, 2005.
5. Лохин, В.М. Интеллектуальные системы управления: понятия, определения, принципы построения / В. М. Лохин, В.М. Захаров // Мехатроника. — 2001. — №2. — С. 27–35.
6. Цой Ю. Р. Эволюционный подход к настройке и обучению искусственных нейронных сетей / Ю. Р. Цой, В. Г. Спицын // Нейроинформатика. — 2006. — Т. 1. — №1. — С. 34-61.
7. Шульговский В. В. Основы нейрофизиологии: Учебное пособие для студентов вузов / В.В.Шульговский. — М.: Аспект Пресс, 2000. — 277 с.

## Прозрачный бетон

Бикбаева Наталья Андреевна, магистр;  
 Лустина Ольга Васильевна, магистр;  
 Купечков Александр Михайлович, магистр  
 Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

При упоминании слова «бетон» воображение рисует нечто не привлекательное с архитектурной точки зрения, серое, громоздкое, однако на сегодняшний день в строительстве активно используется прозрачный бетон или, как его ещё называют, светопроводящий.

Если быть честным, то назвать этот материал полностью прозрачным можно только условно. Дело в том, что через него нельзя увидеть все, как через стекло. Литрокуб пропускает только свет и за ним можно лишь угадать контуры предметов и их цвет.



Рис. 1. Светопрозрачный бетонный блок

Такой строительный материал своим оригинальным видом точно не способен нагнать скуку. Технология изготовления бетона в этом случае подразумевает дополнительно к стандартным элементам использование большого количества оптических волокон. Такой бетон как строительный материал ничуть не уступает традицион-

ному: он так же прочен и надежен, что позволяет использовать его при возведении многочисленных конструкций. Технология изготовления бетона с эффектом прозрачности идейно была разработана архитектором Арном Лосонши из Венгрии. [1]

Самым первым изделием из прозрачного бетона был светильник Литрокуб, который был сделан из нескольких «прозрачных» блоков. Вес такой лампы около 10 кг, и стоимостью 570 евро/

В качестве настоящего строительного материала этот бетон был применен в 2005 году — при возведении немецким архитектором Юргеном Ломаном коттеджа в актуальном стиле hi-tech. [2]

Сегодня в мире существуют уже несколько компаний, занимающихся производством прозрачного бетона и научными разработками в этой сфере. Выпускаются бетонные блоки в трех цветовых вариантах: белом, сером и черном.

Прозрачный бетон очень хорошо пропускает свет даже при значительной толщине, стена из него будет прочной, но при этом можно увидеть даже цвет предмета, находящегося за ней.

Британский архитектор Заха Хадид использовала для своей работы в Лейпциге (центральное здание автомобильного завода BMW). Это сооружение отмечено Немецкой архитектурной премией 2005 года, учрежденной немецкой газетой компанией E. ON Ruhrgas и Федеральной палатой архитекторов Германии. Понятия «коммуникация» и «прозрачность» в последние годы стали в Германии одними из основных требований, предъявляемых к архитектуре.

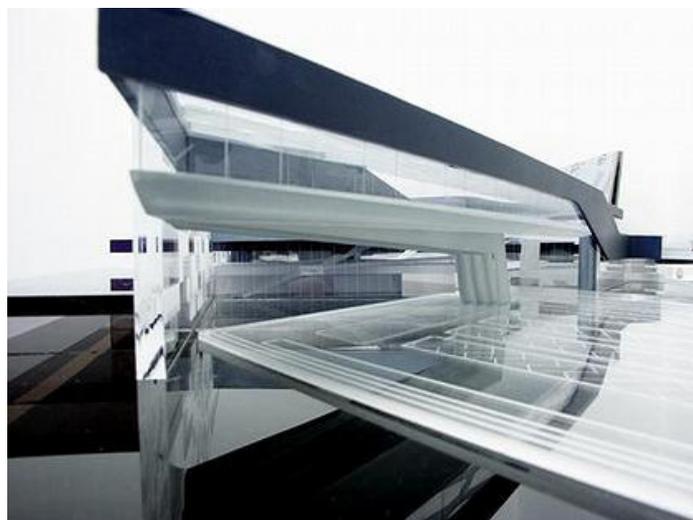


Рис. 2. Центральное здание автомобильного завода BMW

Интерес к прозрачному бетону продолжает расти. В ноябре 2010 года состоялась Архитектурная биеннале в Венеции, где международная команда архитекторов «PETER EBNER and friends», при участии профессора Московского архитектурного института Михаэля Айхнера, представил инсталляцию «Enjoy the view» из прозрачного бетона.

Все это говорит о том, что научно-технический прогресс в области строительного производства развивается быстрыми темпами, и разработки в этой области широко востребованы и вызывают интерес не только ученых, но и дизайнеров, а также «простых покупателей».

Характеристики и свойства/

Светопроводящая конструкция представляет собой твердую и прочную субстанцию, пронизанную множеством тонких стеклянных волокон. При этом доля этих волокон составляет менее 5% от общего объема, что никак не сказывается на его характеристиках.

Более того, благодаря армирующему действию стекловолокон отдельные показатели существенно улучшаются:

- морозостойкость — F 50;
- влагопоглощение — до 6%;
- прочность на сжатие — M250 и на изгиб — R<sub>tb</sub>30.

Технологическая сложность получения прозрачного бетона не позволяет получать его, подобно обычному, заливая в опалубку прямо на месте монтажа. Его выпускают на специализированных промышленных предприятиях, имеющих соответствующее оборудование.

Более того, благодаря армирующему действию стекловолокон отдельные показатели существенно улучшаются:

- морозостойкость — F 50;
- влагопоглощение — до 6%;
- прочность на сжатие — M250 и на изгиб — R<sub>tb</sub>30.

Технические характеристики литракона подтверждают высокую прочность и надежность этого новейшего строительного материала:

- Плотность: 2100–2400 кг/м<sup>3</sup>;
- Прочность на сжатие: 50 Н/мм<sup>2</sup>;
- Прочность на разрыв: 7 Н/мм<sup>2</sup>. [3]

«Прозрачный» бетон так же прочен, как и традиционный, но благодаря тысячам вложенных стеклянных волокон, формирующих матрицу, сквозь него можно увидеть, например, силуэт человека или дерева. Светопроницаемый материал способен сделать интерьер помещения лёгким и воздушным, создавая иллюзию, что массивных стен практически не существует.



Рис. 3. Литрокуб

Небольшой размер оптических волокон, входящих в состав бетона, делает однородной не только внутреннюю структуру блока, но и его внешнюю поверхность. Толщина блока может быть весьма внушительной, без ущерба для своих уникальных свойств, так как стекловолокно в составе бетона способно проводить свет на расстояние более 20 метров.

Также завершились испытания прозрачного бетона на огнестойкость. В результате материал получил высшую оценку по классу пожаростойкости конструкций и элементов зданий (DIN EN 13501–1) A1 — негорючий без ограничений.

Технология производства.

Технология изготовления зависит от целей проекта и нужд заказчика. «Точки» стекловолокон могут быть небрежно разбросаны по поверхности, а могут распола-

гаться в строгом порядке и даже образовывать контуры изображений.

LUCEM — элементы прозрачного бетона состоят из оптических стекловолокон и бетона, эти материалы невосприимчивы к теплу, холоду и ультрафиолетовому облучению и не становятся в противоположность полимерным световодам хрупкими. Технология производства оптического бетона заключается в послойном формировании массивного блока, с последующей его обработкой.

В специальную опалубку тонким слоем заливается жидкий мелкозернистый бетон и параллельно друг другу поперек панели укладываются оптоволоконные нити, толщиной от 2 мк до 2 мм. После застывания операция многократно повторяется до заполнения формы. По окончании работы, прозрачный бетон извлекается, при необходимости разрезается на блоки нужного размера, полируется.

Оптоволокно занимает 4% в общей массе. По утверждению изобретателя, литракон — это не только стекло, смешанное с бетоном, но и новый материал, внутренняя структура и поверхность которого однородны. [4]

**Заключение.**

Технологии производства и его технических свойств прозрачного бетона продолжают развиваться. Также растут компании по его производству и разработке. На се-

годняшний день наиболее крупными являются: LiTraCom, Liscsp, Liscet. Они производят многопрофильные материалы для строительства в виде плит и блоков, а также облицовочные материалы и др. предметы интерьера.

Несмотря на свою уникальность, строительство из такого бетона пока маловероятно, поскольку стоимость такого материала очень высока — 1 кв. метра (толщиной 200 мм) составляет почти 4 тысячи евро.

Литература:

1. <http://www.archplatforma.ru/>
2. <http://www.rmnt.ru/>
3. <http://vistatehno.by/>
4. <http://www.dal.by/>
- 5.

## Расчет температурно-технологических параметров устройства асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха

Больш Павел Владимирович, магистрант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В статье приведена методика расчета температурных и технологических параметров асфальтобетонной смеси для строительства покрытий при пониженных температурах воздуха, что продлевает сроки строительства, регламентируемые СП 78.13330–2012.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, покрытие, пониженная температура

Основные нормативные документы, регламентирующие правила строительства дорожных одежд [1, 2] ограничивают сроки асфальтирования температурными рамками. Весной работы по строительству слоев одежды из горячих асфальтобетонных смесей производят при температуре воздуха не ниже 5 °С, а осенью — 10 °С [1, 2]. Тем не менее в 60–70-х годах прошлого столетия выполнено много исследований, направленных на обеспечение качественного строительства покрытий и оснований из горячего асфальтобетона при более низких температурах. В результате в 1976 году вышли в свет указания [3], в которых приведены требования по минимальной температуре смеси (см. табл. 1), продолжительности уплотнения (табл. 2), а так же распределению катков по температурным интервалам (табл. 3).

Продолжительность всего технологического процесса определяется при помощи номограмма, представленной на рис. 1, на которой указан порядок расчета.

Технология строительства дорожной одежды при пониженных температурах воздуха сложна. Вследствие чего дорожные одежды с асфальтобетонными покрытиями устраиваемыми в этот период нуждаются в применении особых методов расчета дорожной конструкции. К таким методам непременно следует отнести критерии прочности и условия пластичности, включающие в виде отдельного параметра материала сплошность или поврежденность, которые зависят от числа приложенных нагрузок и являются функцией этого числа. Такие критерии приводятся в работах [4, 5], оценку их соответствия данным эксперимента надо

Таблица 1. Минимальная температура смеси

| Толщина слоя покрытия, см | Рекомендуемая минимальная температура смеси, доставленной к укладчику, °С, при температурах воздуха, °С |         |         |         |         |
|---------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
|                           | +10   | +5      | 0       | -5      | -10     |
| 5                         | 140/150   | 140/150 | 145/155 | 150/160 | 155/ —  |
| 10                        | 130/135   | 130/135 | 135/140 | 140/145 | 145/150 |

Таблица 2. Время укатки слоя покрытия

| Температура воздуха, °С | Минимальная толщина слоя покрытия, см | Подготовка основания | Время укатки слоя покрытия, мин, при скорости ветра, м/с |       |       |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------------|--|-------|-------|
|                         |                                       |                      | до 5   | 6–10  | 11–15 |
| 0 ≤ T < 5               | 5–6                                   | Без нагрева          | 27–34  | 23–30 | 20–25 |
|                         |                                       | С нагревом           | 36–40  | 31–35 | 26–29 |
| -5 ≤ T < 0              | 6–7                                   | Без нагрева          | 28–37  | 25–32 | 23–28 |
|                         |                                       | С нагревом           | 40–46  | 35–40 | 29–33 |
| -5 ≤ T < -10            | 7–8                                   | Без нагрева          | 33–40  | 29–36 | 26–30 |
|                         |                                       | С нагревом           | 45–51  | 40–44 | 32–36 |

Таблица 3. Распределение катков по температурным интервалам

| Толщина слоя покрытия, см | Температура воздуха и остывания, °С | Время остывания смеси от 140 до 55–70°С, мин | Среднее время работы, мин       |   |                                 |                                   |
|---------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|
|                           |                                     |  | Укладчика (от 140 до 125–120°С) | Легкого катка (от 125–120 до 110–105°С) | Среднего катка (от 105 до 85°С) | Тяжелого катка (от 85 до 70–55°С) |
| 6–8                       | -5 ≤ T < 0                          | 28–33  | 2–3                             | 3–5                                     | 8–9                             | 15–16                             |
| 6–8                       | 0 ≤ T < +5                          | 33–35  | 3–4                             | 4–6                                     | 9–11                            | 16–18                             |

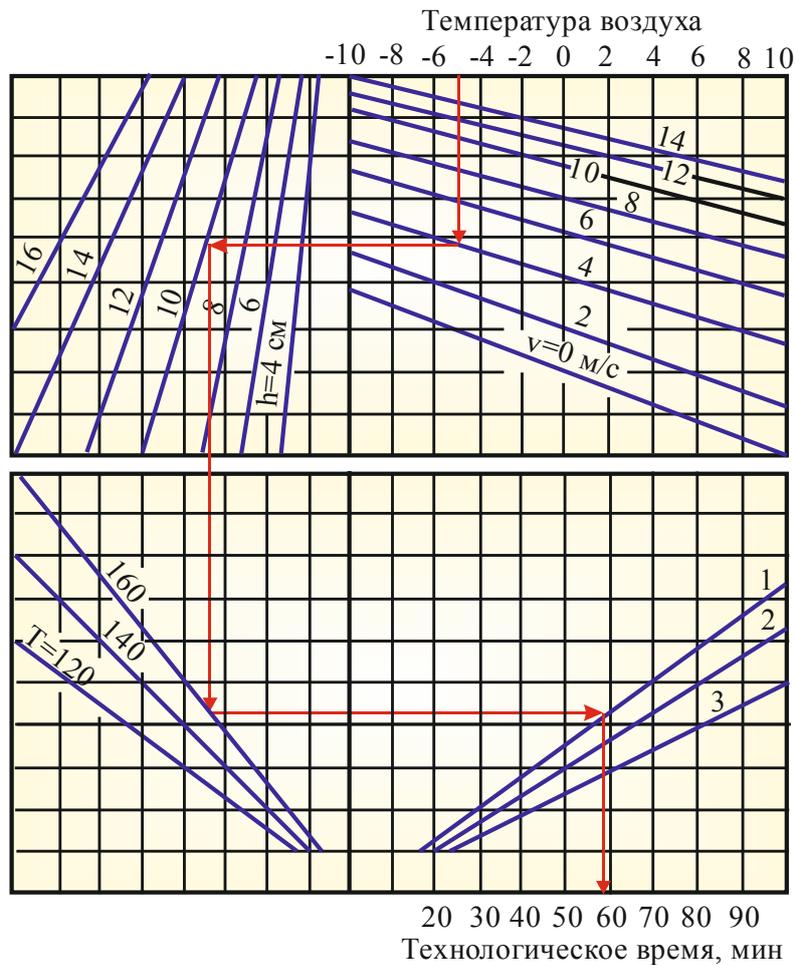


Рис. 1. Номограмма для расчета технологического времени

проверять штамповыми испытаниями, методика которых может быть аналогична испытанию слоев из песка [6].

Кроме того, необходимо увеличить количество образцов асфальтобетона, отбираемых из покрытия для

оценки соответствия коэффициента уплотнения требованиям нормативов. Убедиться в положительном влиянии на качество работ сгущении сетки контроля можно на основе анализа материалов публикаций [8–10].

Литература:

1. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги.
2. СНиП 3.06.03–85 Автомобильные дороги.
3. Методические рекомендации по строительству асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха. — М.: Союздорнии, 1976.
4. Александрова, Н.П., Александров А.С., Чусов В.В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
5. Александрова, Н.П., Чусов В.В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
6. Калинин, А.Л., Долгих Г.В., Александров А.С. Штамповые испытания песчаных слоев дорожной одежды, армированных геосинтетикой // Вестник научных конференций. 2016. № 5–2 (9). с. 65–66.
7. Александрова, Н.П., Семенова Т.В., Долгих Г.В. Методы определения максимальной плотности грунтов земляного полотна автомобильных дорог [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие — Электрон. дан. — Омск: СибАДИ, 2015. — Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD53.pdf>, свободный после авторизации. — Загл. с экрана.
8. Александрова, Н.П., Троценко Н.А. Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ, 2014, № 3 — с. 40–47.
9. Александрова, Н.П., Семенова Т.В., Стригун К.Ю. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н.П. Александрова, // Вестник СибАДИ. — 2015. — № 4. — с. 46–57.
10. Александрова, Н.П., Семенова Т.В. Совершенствование методов экспресс контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Часть 1. Обобщающая математическая модель // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. № 6–2 (48). — с. 10–14.
- 11.

## О методах расчета асфальтобетонных покрытий построенных при пониженных температурах воздуха и контроль качества их устройства

Большой Павел Владимирович, магистрант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В статье приведены сведения о методах расчета, которые необходимо применять для проверки достаточности толщины покрытий, построенных при пониженных температурах воздуха. Выполнен анализ целесообразности сгущения сетки контроля коэффициента уплотнения асфальтобетона.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, покрытие, пониженная температура

Указания [1] дополняют требования нормативов [2, 3] в части регламентации технологии строительства покрытий из горячей асфальтобетонной смеси при пониженных температурах воздуха, что позволяет увеличить продолжительность строительного сезона по асфальтированию. Тем не менее строительство покрытий при пониженных температурах воздуха необходимо отнести к особым условиям, а это значит, что соблюдения правил

расчета дорожных одежд, оговариваемых в документе [4] недостаточно.

В связи с этим автором выполнен анализ материалов обзорных статей [5, 6], из которого следует, что наиболее перспективными являются критерии прочности и условия пластичности, включающие характеристики теории накапливания повреждений. К таким критериям можно отнести модифицированные уравнения предельного состояния ус-



Рис. 1. Экспресс оценка коэффициента уплотнения асфальтобетона

ловий, опубликованные в работах [6–10]. Благодаря наличию функциональной зависимости характеристик теории накопления повреждений от числа нагрузок, эти уравнения позволяют вычислять предельное число нагрузок, которое может выдержать материал до разрушения или начала пластичности. По предельному числу нагрузок имеется возможность рассчитать срок службы до появления силовых трещин или до момента возникновения предельного состояния по сопротивлению сдвигу. В принципе такой расчет аналогичен подобным расчетам по простейшим критериям прочности, процедура которых описаны в публикациях [11, 12].

К коэффициенту уплотнения асфальтобетона покрытий построенных при пониженных температурах воздуха предъявляют такие же требования, как при строительстве в обычных условиях. Тем не менее, надежность контроля качества строительства в особых условиях необходимо

повышать. Для решения этой задачи выполнен анализ работ [13–16], в которых рассматривается повышение надежности контроля для грунтов земляного полотна. Регламентацию контроля автор построил аналогично грунтовой регламентации, описываемый в публикациях [13–16]. Суть предлагаемой мной регламентации сводится к сгущению сетки контроля за счет выполнения дополнительных измерений приборами для ускоренной оценки средней плотности асфальтобетона и коэффициента уплотнения. Реализация такой идеи приводит к повышению надежности данных контроля и незначительному, по сравнению с требованиями [2, 3], увеличению трудоемкости контроля. На рис. 1 приведена иллюстрация прибора и выполнения измерений ускоренным способом.

Важным элементом контроля качества являются штамповые испытания покрытия, которые можно произвести по аналогии с грунтовыми испытаниями [17].

#### Литература:

1. Методические рекомендации по строительству асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха. — М.: Союздорнии, 1976.
2. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги.
3. СНиП 3.06.03–85 Автомобильные дороги.
4. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд. — М.: ГСДХ Минтранса России, 2001. — 146 с.
5. Гаевская, В. А. Обзор традиционных и современных расчетов дорожных конструкций // Молодой ученый. 2016 № 12 (116) — с. 234–238
6. Удальцов, И. Э. Современные методы расчета дорожных одежд. Часть 1. Обзор и анализ // Молодой ученый. 2016 № 12 (116) — с. 403–406.

7. Александрова, Н.П., Александров А.С., Чусов В.В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
8. Чусов, В.В., Александрова Н.П. Два способа расчета мер теории накопления повреждений // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. с. 271–275.
9. Александрова, Н.П., Чусов В.В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накопления повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
10. Aleksandrova, N. P. Chysow V. V. The usage of integral equations hereditary theories for calculating changes measures in the theory of damage when exposed to repeated loads // Magazine of Civil Engineering, 2016, No. 2. Article in Press.
11. Сартаков, А.А. Расчет срока службы асфальтогранулобетонных оснований дорожных одежд, восстановленных методом холодного ресайклинга // Высшая школа. 2016. № 9. Т. 1. — с. 124–125.
12. Рябков, Ю.В. Расчет межремонтных сроков возобновления дорожных одежд методом холодного ресайклинга // Вестник магистратуры. 2016. № 5–2 (56) — с. 34–36.
13. Александрова, Н.П., Семенова Т.В. Совершенствование методов экспресс контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Часть 1. Обобщающая математическая модель // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. № 6–2 (48). — с. 10–14.
14. Александрова, Н.П., Семенова Т.В., Долгих Г.В. Методы определения максимальной плотности грунтов земляного полотна автомобильных дорог [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие — Электрон. дан. — Омск: СибАДИ, 2015. — Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD53.pdf>, свободный после авторизации. — Загл. с экрана.
15. Александрова, Н.П., Троценко Н.А. Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ, 2014, № 3 — с. 40–47.
16. Александрова, Н.П., Семенова Т.В., Стригун К.Ю. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н.П. Александрова, // Вестник СибАДИ. — 2015. — № 4. — с. 46–57.
17. Калинин, А.Л., Долгих Г.В., Александров А.С. Штамповые испытания песчаных слоев дорожной одежды, армированных геосинтетикой // Вестник научных конференций. 2016. № 5–2 (9). с. 65–66.

## Влияние химических добавок на коэффициент уплотнения асфальтобетона при строительстве покрытия в условиях пониженных температур

Больш Павел Владимирович, магистрант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В статье представлены результаты испытаний асфальтобетона, в состав которого введены химические добавки EVOTHERM®J-1 (США), CECACABASE RT945 (Франция), REDISSETMWMX (Швеция), позволяющие понижать температуру смеси при производстве работ.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, химическая добавка

Указания по производству работ при строительстве асфальтобетонных покрытий из горячих смесей в условиях пониженных температур [1] требуют применения в составе смесей химических добавок, таких как EVOTHERM®J-1, CECACABASE RT945, REDISSETMWMX, выпускаемых в США, Франции и Швеции. Целью нашей публикации является определение возможности уплотнения горячей асфальтобетонной смеси до требуемых [2] значений.

Смеси с пластифицирующими добавками выпускались 2015 г. на асфальтобетонном заводе (АБЗ), явля-

ющемся структурным подразделением управления дорожного хозяйства и благоустройства г. Омска (УДХБ г. Омска). Строительство покрытий выполнялось в период с августа по ноябрь 2015 г. на улично-дорожной сети в Омске. Из построенного покрытия брались вырубki для определения средней плотности асфальтобетона. На дорогах производилась экспресс оценка средней плотности асфальтобетона, что позволяло сгустить сетку контроля и увеличить объем выборки средних плотностей. Обоснование сгущения сетки контроля выполнено аналогично

методикам, описанным в работах [3–6], и применяемым для обоснования увеличения количества испытаний при определении коэффициента уплотнения земляного полотна. Максимальная средняя плотность определялась ежедневно в лаборатории АБЗ. Комплекс этих мероприятий позволил набрать внушительные выборки коэффициентов уплотнения.

Деление выборок произведено по факторам: виду используемой добавки, температуре воздуха и скорости ветра, при которых выполнено укладка и уплотнение смеси. Выборки обработаны методами математической статистики, что позволило установить вероятности уплотнения смеси до требуемого коэффициента уплотнения 0,99. Результаты статистической обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1. Вероятность уплотнения горячей асфальтобетонной смеси типа Б с химическими добавками до коэффициента уплотнения 0,99

| Вид добавки      | Скорость ветра | Вероятность уплотнения смеси типа Б до коэффициента уплотнения 0,99 при температуре |      |       |
|------------------|----------------|---|------|-------|
|                  |                | 0°С   | -5°С | -10°С |
| EVOTHERM®J-1     | 2              | 99  | 98   | 95    |
|                  | 4              | 98  | 95   | 90    |
| CECECABASE RT945 | 3              | 98  | 97   | 90    |
|                  | 5              | 97  | 95   | 85    |
| REDISSETTMWMX    | 2              | 99  | 98   | 96    |
|                  | 3              | 98  | 96   | 93    |

В результате мы пришли к выводу, что применение добавок EVOTHERM®J-1 и REDISSETTMWMX наиболее рационально при устройстве покрытия в условиях пониженных температур воздуха.

Весной 2016 г. выполнены штамповые испытания дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием, построенным при пониженных температурах воздуха в 2015 г. Методика и оборудования аналогична, применяемым для испытания грунтов [7].

Строительство при пониженных температурах [1] имеет особенностями, что требует более детального расчета толщины таких покрытий и дорожной одежды

в целом. Для этого мы применили современные расчетные методики, опубликованные в работах [8–12]. Эти работы позволили разработать альбом типовых конструкций с асфальтобетонными покрытиями при их строительстве при пониженных температурах, величина которых ниже 0 °С. В этом альбоме выполнено прогнозирование пластических деформаций по функциям работы [11], но с параметрами асфальтобетона, установленными в работе [12]. Также рассчитан срок службы до начала пластичности по критериям сопротивления сдвигу [9, 10] и разрушения по критериям Писаренко — Лебедева и О. Мора [9, 13, 14].

#### Литература:

1. Методические рекомендации по строительству асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха. — М.: Союздорнии, 1976.
2. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85.
3. Александрова, Н. П., Семенова Т. В. Совершенствование методов экспресс контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Часть 1. Обобщающая математическая модель // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. № 6–2 (48). — с. 10–14.
4. Александрова, Н. П., Троценко Н. А. Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ, 2014, № 3 — с. 40–47.
5. Александрова, Н. П., Семенова Т. В., Долгих Г. В. Методы определения максимальной плотности грунтов земляного полотна автомобильных дорог [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие — Электрон. дан. — Омск: СибАДИ, 2015. — Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD53.pdf>, свободный после авторизации. — Загл. с экрана.
6. Александрова, Н. П., Семенова Т. В., Стригун К. Ю. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н. П. Александрова, // Вестник СибАДИ. — 2015. — № 4. — с. 46–57.
7. Калинин, А. Л., Долгих Г. В., Александров А. С. Штамповые испытания песчаных слоев дорожной одежды, армированных геосинтетикой // Вестник научных конференций. 2016. № 5–2 (9). с. 65–66.
8. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.

9. Александрова, Н. П., Чусов В. В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
10. Чусов, В. В., Александрова Н. П. Два способа расчета мер теории накапливания повреждений // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016 — с. 271–275.
11. Стригун, Т. В., Александрова Н. П. Моделирование пластических деформаций дискретных материалов в слоях дорожных конструкций // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. — с. 229–233.
12. Кузин, Н. В. Исследование пластичности дорожных асфальтобетонов // Молодой ученый. — 2016. — № 10 (114). — с. 255–257.
13. Чусов, В. В. Модифицированные критерии Писаренко-Лебедева и Кулона-Мора, учитывающие меры теории накапливания повреждений // Молодой ученый. — 2016. — № 9 (113). — с. 338–341.
14. Чусов, В. В. Прогнозирование изменения мер теории накапливания повреждений при циклической нагрузке // В сборнике: Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: материалы международной научно-практической конференции, г. Вологда, 27 апреля 2016 г. — Вологда: ООО «Маркер», 2016. — с. 53–54.

## Расчет требуемой температуры горячей асфальтобетонной смеси на выходе из укладчика

Больш Павел Владимирович, магистрант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В статье приведена методика расчета асфальтобетонной смеси на выходе из асфальтоукладчика и дан критерий оценки возможности ее уплотнения до требований, регламентируемых СП 78.13330–2012.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, покрытие, температура, уплотнение

Асфальтобетонные дорожные покрытия накапливают разнообразные дефекты, которые приводят к ухудшению транспортно эксплуатационных показателей. Причины этого видятся в несовершенстве методов расчета [1] и в достаточно низких требованиях к качеству строительства [2, 3]. Контроль параметров покрытия осуществляется в точках, которые образуют сетку. Например, при проверке соответствия коэффициента уплотнения асфальтобетона по [2] отбирают не менее 3 проб на 3000 м<sup>2</sup>, а по [3] не менее 3 проб на 7000 м<sup>2</sup>. Если ширина покрытия в пределах проезжей части и краевых укрепленных полос обочин составляет 8 м, то расстояние между точками отбора кернов или вырубков составят 437,5 м [2] и 187, 5 м по [3]. Отсюда следует, что сетка контроля достаточно редкая, а значит, на участках между точками отбора качество может быть не обеспечено. Согласно [2, 3] точки отбора проб грунта в верхнем технологическом слое должны быть расположены на расстоянии не менее 50 м, при этом в зависимости от ширины слоя с одного поперечника отбирают 3 или 5 проб. То есть к контролю уплотнения грунта в земляном полотне выдвигают более строгие требования, чем к асфальтобетону в покрытии. Причем в настоящее время появились публикации обосновывающие необходимость сгущать сетку контроля на земляном полотне [4–6], а также определить максимальную плотность грунта как

по стандартам РФ, так и методам Р. Проктора [7]. Применительно к асфальтобетону таких работ нет и требования к сетке контроля, регламентируемой [2, 3] не ужесточаются.

Поэтому для повышения качества строительства асфальтобетонных покрытий необходимо совершенствовать методики прогнозирования температурно-технологических параметров асфальтобетонной смеси, определяя их критическое значение для операций доставки, укладки и уплотнения смеси.

Разработка методов расчета температурно-технологических параметров асфальтобетонной смеси в процессе производства работ выполнена специалистами СибАДИ и Союздорнии, разработавшие указания [8] и рекомендации [9], позволяющие выполнять работы по асфальтированию даже при пониженных температурах, что позволяет продлить строительный сезон, ограниченный строгими температурными рамками [2, 3].

Согласно [8] при проектировании технологии необходимо проверять условие возможности качественного уплотнения асфальтобетонной смеси:

$$t_{\min \sigma} - t_y \geq t_{\min} \quad (1)$$

где  $t_{\min \sigma}$  — минимальная температура смеси после ее выгрузки в приемный бункер асфальтоукладчика, рассчитываемая по [8, прил. 15];  $t_y$  — снижение температуры

смеси в процессе ее укладки (примерно 5–10°C);  $t_{\min}$  — минимальная температура смеси после укладки.

$$t_{\min} = \frac{t_h - t_o \cdot (\Theta_{o \min} - 1) - \Theta_{s \min} \cdot t_s}{\Theta_{o \min} - \Theta_{s \min}} \cdot 100 \quad (2)$$

где  $t_B$  и  $t_o$  — температуры воздуха и основания, °C;  $\Theta_{o \min}$  и  $\Theta_{s \min}$  — минимальные относительные температуры слоя толщиной  $R$  соответственно за счет стока тепла в основание и воздух за минимально допустимое время  $\tau_{\min}$  ( $\tau_{\min}=0,4$ ).

Для расчета относительных температур слоя  $\Theta_{o \min}$  и  $\Theta_{s \min}$  нужно вычислить значения критериев Фурье  $Fo_{\min}$  и Био  $Bi=\alpha R/\lambda$ , а так же соотношение коэффициентов тепловой активности материала асфальтобетонного слоя и материала основания  $k_B$ .

Определение теплофизических свойств выполняют по номограмме, представленной в указаниях [8, прил. 22], а величину коэффициента теплоотдачи берут по табл. 1.

Таблица 1. Величина коэффициента теплоотдачи  $\alpha$

| Скорость ветра $v$ , м/с | Коэффициент теплоотдачи $\alpha$ |
|--------------------------|----------------------------------|
| 0                        | 15                               |
| До 5                     | 15+v                             |
| Более 5                  | 11,5+1,7×v                       |

Температуры  $\Theta_{o \min}$  и  $\Theta_{s \min}$  определяют графически, используя вторую номограмму, представленную в указаниях [8, прил. 22]. После расчета  $t_{\min}$  проверяют условие (1).

Для повышения сроков службы асфальтобетонных покрытий надо развивать не только технологические регламенты их строительства, но и методы проектирования. Обсуждая современные расчетные методики отметим

работы [10–12], в которых приведены критерии прочности и условия пластичности асфальтобетона, учитывающие влияние усталостных процессов наличием поврежденности, являющейся функцией числа нагрузок. Проверку адекватности методик расчета необходимо выполнять штамповыми испытаниями, подобными испытанию грунтов и песчаных слоев [13].

Литература:

- ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд. — М.: ГСДХ Минтранса России, 2001. — 146 с.
- СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85.
- СНиП 3.06.03–85 Автомобильные дороги.
- Александрова, Н. П., Троценко Н. А. Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ, 2014, № 3 — с. 40–47.
- Александрова, Н. П., Семенова Т. В., Стригун К. Ю. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н. П. Александрова, // Вестник СибАДИ. — 2015. — № 4. — с. 46–57.
- Александрова, Н. П., Семенова Т. В. Совершенствование методов экспресс контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Часть 1. Обобщающая математическая модель // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. № 6–2 (48). — с. 10–14.
- Александрова, Н. П., Семенова Т. В., Долгих Г. В. Методы определения максимальной плотности грунтов земляного полотна автомобильных дорог [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие — Электрон. дан. — Омск: СибАДИ, 2015. — Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD53.pdf>, свободный после авторизации. — Загл. с экрана.
- Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий: Методические указания — Омск: Изд-во Омский дом печати, 2004. — 335 с.
- Методические рекомендации по строительству асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха. — М.: Союздорнии, 1976.
- Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
- Александрова, Н. П., Чусов В. В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
- Чусов, В. В., Александрова Н. П. Два способа расчета мер теории накапливания повреждений // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016 — с. 271–275.

13. Калинин, А.Л., Долгих Г.В., Александров А.С. Штамповые испытания песчаных слоев дорожной одежды, армированных геосинтетикой // Вестник научных конференций. 2016. № 5–2 (9). с. 65–66.

## Экспериментальная проверка технологии устройства асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха

Большой Павел Владимирович, магистрант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В статье приведены данные сравнительных испытаний показателей параметров качества строительства асфальтобетонных покрытий, уложенных в соответствии с требованиями СП 78.13330–2012 и технологии их устройства при пониженных температурах.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, покрытие, пониженная температура

В РФ сложилась практика устройства асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах, которые ниже допускаемы значений [1, 2] 5 °С весной и 10 °С. Указания [3] позволяют производить асфальтирование при температурах воздуха до (минус) 10 °С при обязательном обеспечении температурно-технологических параметров асфальтобетонной смеси в процессе ее доставки, укладки и уплотнения.

В 2015 г. в городе Омске произведены работы по ремонту улично-дорожной сети в период с августа по ноябрь. Асфальтобетонные покрытия отремонтированных улиц построены в разные сроки. Сроки устройства покрытий одних улиц укладывались в требования документов Основные нормативные документы, регламентирующие правила строительства дорожных одежд [1, 2], а других улиц выходили за рамки осеннего температурного ограничения, то есть асфальтирование производилось при температурах воздуха ниже 10 °С. Для выполнения работ в период пониженных температур на основе требований рекомендаций [3] был составлен технологический регламент, согласно которому выполнено асфальтирование УДС г. Омска. Для сравнительной оценки качества строительства выбрана улица Заозерная, на которой часть покрытия построена в сроки допускаемые [1, 2], а другая часть асфальтировалась по требованиям технологического регламента, в основу которого положены указания [3].

Для обеспечения критериев прочности дорожные конструкции с покрытием, устраиваемым в различные периоды, были рассчитаны по методикам, полученным в работах [4–5]. Для определения прогибов применены штамповые испытаниями, методика которых изложена в [7]. Оценка соответствия коэффициента уплотнения требованиям выполнена при количестве испытаний существенно превышающем требования [1, 2], что согласно материалам, опубликованным в статьях [8–11], повышает контроля.

Кумулятивные кривые упругих прогибов приведены на рис. 1 и рис. 2.

Анализ результатов испытаний показал, что фактический расчетный прогиб на участке № 2 выше прогиба на участке № 1 (0,196 > 0,177). Приведенный фактический модуль упругости конструкции участка № 2 ( $E=359,1$  МПа), а на участке № 1 ( $E=397,6$  МПа). Требуемый модуль упругости конструкций обоих участков составляет 268 МПа. Вычисления коэффициента прочности показывают, что на участке № 1 его значение составляет 1,46, а на участке № 2 – 1,34. Требуемый коэффициент прочности по ОДН 218.046.011,3. Значит, по критерию упругого прогиба оба участка удовлетворяют требованиям, но срок службы покрытия участка № 2 будет ниже, чем № 1. Аналогичный вывод сделан из анализа результатов расчета конструкций по критериям, предложенным в работах [4–7].

### Литература:

1. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги.
2. СНиП 3.06.03–85 Автомобильные дороги.
3. Методические рекомендации по строительству асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха. — М.: Союздорнии, 1976.
4. Александрова, Н.П., Александров А.С., Чусов В.В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.

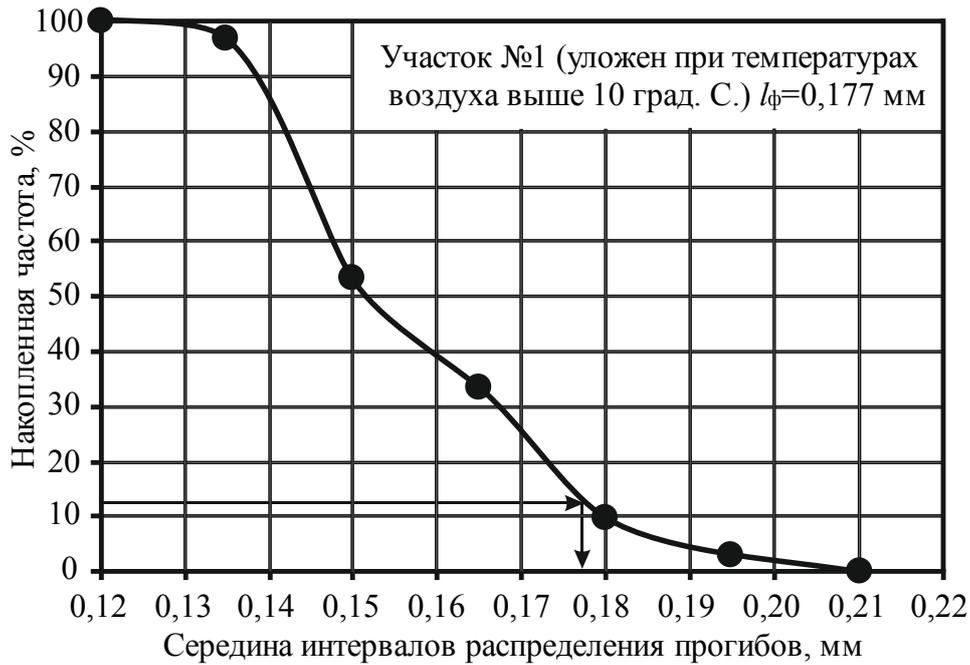


Рис. 1. Результаты испытаний участка № 1, построенного по требованиям [1, 2]

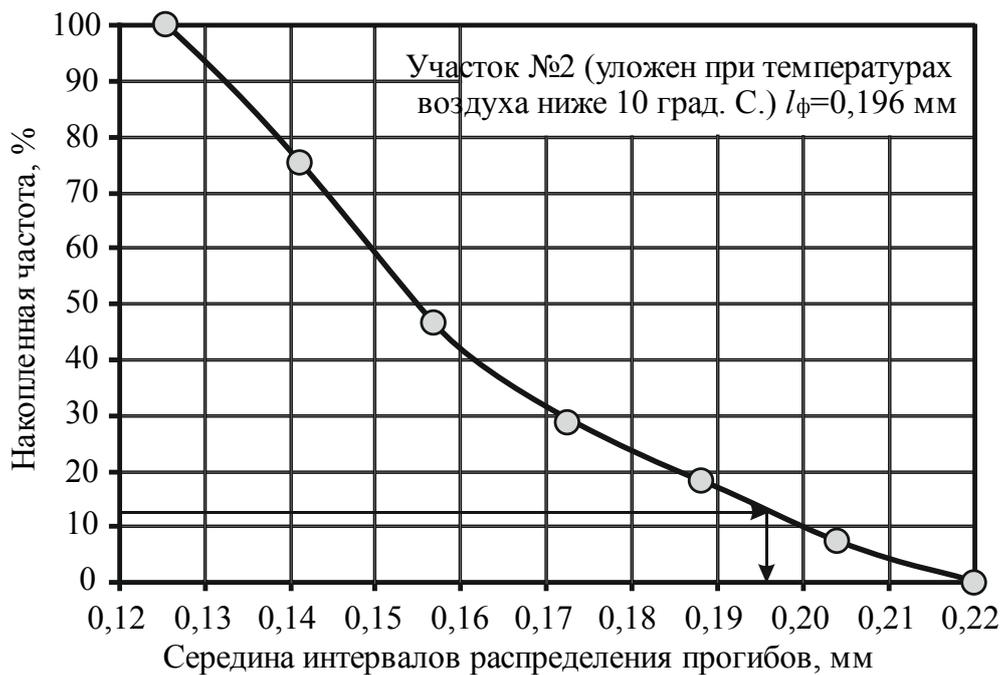


Рис. 2. Результаты испытаний участка № 2, построенного по требованиям [3]

5. Александрова, Н. П., Чусов В. В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
6. Чусов, В. В., Александрова Н. П. Два способа расчета мер теории накапливания повреждений // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016 — с. 271–275.
7. Калинин, А. Л., Долгих Г. В., Александров А. С. Штамповые испытания песчаных слоев дорожной одежды, армированных геосинтетикой // Вестник научных конференций. 2016. № 5–2 (9). с. 65–66.

8. Александрова, Н.П., Семенова Т.В., Долгих Г.В. Методы определения максимальной плотности грунтов земляного полотна автомобильных дорог [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие — Электрон. дан. — Омск: СибАДИ, 2015. — Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD53.pdf>, свободный после авторизации. — Загл. с экрана.
9. Александрова, Н.П., Семенова Т.В., Стригун К.Ю. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н.П. Александрова, // Вестник СибАДИ. — 2015. — № 4. — с. 46–57.
10. Александрова, Н.П., Семенова Т.В. Совершенствование методов экспресс контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Часть 1. Обобщающая математическая модель // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. № 6–2 (48). — с. 10–14.
11. Александрова, Н.П., Троценко Н.А. Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ, 2014, № 3 — с. 40–47.

## Сдерживающие факторы использования композитной арматуры

Виноградова Наталья Анатольевна, аспирант;

Теплова Жанна Сергеевна, магистрант

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*В статье представлена информация о свойствах композитной арматуры, основных ее достоинствах и недостатках по сравнению с традиционной стальной арматурой. Рассмотрены области применения композитной арматуры, приведены примеры, в которых использовать данный вид арматуры целесообразно. Сделан обзор российской и зарубежной нормативной литературы. Все выводы подтверждены числовыми данными.*

**Ключевые слова:** арматура, стеклопластик, стекловолокно, композитная арматура, стальная арматура, бетон, свойства арматуры, коррозия

Полимеркомпозитная арматура (ПКА) представляет собой инновационную разработку в области современных материалов для строительной индустрии. Такая арматура превосходит стальные аналоги по прочности, устойчивости к действию внешних факторов и ценовым характеристикам. Она активно используется при армировании бетонных конструкций, укреплении дорожного полотна, строительстве фундаментов и прочих строительных процессах.

В результате производства ПКА получается материал, который в полной мере удовлетворяет всем современным требованиям качества, безопасности и надежности. Кроме того, композитная арматура отличается неприхотливостью в эксплуатации. Ее можно использовать в большом температурном диапазоне — от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . При этом ПКА обладает длительным сроком службы и отличается высокой степенью устойчивости к коррозии [1–3].

Однако применение полимеркомпозитной арматуры возможно лишь с определенной осторожностью. Это связано с тем, что нормативная база развита недостаточно, и для широкого использования ПКА при проектировании должна быть разработана на основе всесторонних исследований.

### Обзор литературы

Железобетон был создан ненамеренно в середине XIX в. и принципиально изменил развитие строительной науки

и техники. К первой трети XX в. железобетон уже завоевал лидирующие позиции в строительстве и до сих пор остается основным современным конструкционным материалом. Как показала строительная практика, несмотря на многочисленные преимущества, железобетон обладает рядом недостатков, в результате чего в настоящее время ведутся исследования по разработке нового материала, который исключит недостатки арматурной стали и будет иметь все ее преимущества. Альтернативой стальной арматуре, как заявляют изобретатели, становится композитная (полимеркомпозитная) арматура [4].

Последние 15 лет композитные материалы стали наиболее выгодными при применении их в изгибаемых бетонных конструкциях. В настоящее время каждый год в мире используется более 10 миллионов погонных метров такой арматуры [5].

Первые упоминания о полимеркомпозитной арматуре относятся ко второй половине XX в., а исследования по созданию высокопрочной неметаллической арматуры, изучению ее свойств и рациональной области использования были начаты в СССР и США еще в 1960-м году. Позже в ряде других стран (Япония, ФРГ, Великобритания, Канада) ПКА довольно успешно была внедрена на некоторых объектах нового строительства. На строительном рынке сегодня работает более 50 производителей композитной арматуры.

Первыми крупными производителями неметаллической арматуры являются знаменитые компании из Ка-

нады и Соединенных Штатов Америки: Marshall Vega Corporation (Маршал Вега Корпорэйшн) — компания наладила производство в 1974 году; другая компания Хьюгз Брозерз (Hughes Brothers, расположенная в Небраске, США) — изготовление композитной арматуры было начато в 1984 году. Эта компания до сих пор является одной из крупнейших на территории Северной Америки; а крупнейший производитель в Канаде, находится в Квебеке — это компания Пултрал — современные производственные площадки обеспечивают изготовление неметаллической арматуры с 1987 года.

Большой вклад в изучение композитных материалов внесли известные ученые XX в., такие как О.Я. Берг, А.А. Гвоздев, Н.Г. Литвинов, В.Ф. Набоков, Л.С. Фридман, В.М. Власов, а также более современные, в том числе молодые ученые, исследующие вопросы ПККА и по сей день, такие как В.Ф. Савин, О.С. Середина, А.Е. Лапшинов, Т. Елсайед и другие [6].

### Соотношение преимуществ и недостатков ПККА

В рамках реализации плана мероприятий «Развитие отрасли производства композитных материалов», согласно распоряжению Правительства РФ от 24 июля 2013 г № 1307-р, создана группа научных производственных предприятия, специализирующихся на разработке, производстве и маркетинге композитной стеклопластиковой арматуры. Указанные предприятия должны выполнять работы по распространению композитных материалов, обеспечивающие полный цикл использования: от расчетов в проектной документации до сопровождения строительно-монтажных работ на объекте.



Рис. 1. Композитная арматура [7]

Одним из самых продолжительных этапов, в частности на крупных объектах, является обоснование необходимости применения ПККА и разработка специальных технических условий на конструктивную часть проектной документации с последующим согласованием их в ООО «НИИЖБ» г. Москва и Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Этот этап является дополнительным и необходимым для использования той продукции, чья нормативная база недостаточна для свободного применения [8–11].

В постановлении правительства РФ N1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» обязательно к использованию упомянут раздел СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». В этом документе есть лишь упоминания о расчётных предпосылках для композитной арматуры, но в п. 6.2.2 в качестве арматуры упоминается только металлическая арматура, что однозначно исключает использование композитной.

Помимо этого существенного недостатка, композитная арматура имеет ряд преимуществ по сравнению со стальной арматурой, основным из которых, например, является то, что ПККА не подвержена коррозии [12–14]. Кроме того, сравнивая физико-механические характеристики материалов, представленные в таблице 1, можно сделать вывод о том, что ПККА во многом не уступает классической стальной арматуре [15].

Но углубляясь в нормы и рассматривая другие нормативные документы, можно увидеть, что в СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» также представлены уточняющие положения по расчёту только для металлической арматуры, что также является сдерживающим фактором для широкого использования ПККА.

Согласно п. Л. 2.5 СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» ПККА не работает на сжатие, и расчётное сопротивление сжатию необходимо принимать равным нулю. Кроме того, наблюдается значительно худшая работа материала по второй группе предельных состояний (прогиб и трещиностойкость). Модуль упругости композитной арматуры (50 ГПа), что примерно в 4 раза меньше чем металлической арматуры (210 ГПа).

Что касается европейских норм — Еврокодов, по которым производится расчет несущих конструкций, — согласно требованию п. 3.2.1 EN 1992–1–1 Еврокод 2 «Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий» в железобетонных конструкциях допускается применение только стальной арматуры. Таким образом, на данный момент в России и Европе отсутствует нормативный документ, регламентирующий расчет и проектирование конструкций с применением стеклопластиковой арматуры.

При монтаже, на строительной площадке, ПККА имеет следующие недостатки: невозможность гнуть арматуру (необходимо сразу заказывать на заводе гнутую в размер арматуру), а также невозможность стыковать арматуры сваркой (обязательно применять соединения либо «внахлест», либо на хомутах) [16–22].

Также, необходимо отметить, что минимальный процент армирования у композитной арматуры больше, чем у металлической. Наглядный пример представлен в таблице 2.

Таблица 1. Физико-механические характеристики стальной и неметаллической арматуры

| Характеристики   | Арматурная сталь Класса А-Ш (А400С) по ГОСТ 5781   | Неметаллическая композитная арматура АНК-С   |
|--|--|--|
| Материал   | Сталь горячекатаная 35 ГС, 25 Г2С, Ст <sup>3</sup> КП, Ст <sup>3</sup> ПС и др.                            | Стеклянные волокна, связанные полимером  |
| Предел прочности при растяжении (временное сопротивление), МПа               | 590  | 600–1750   |
| Модуль упругости при растяжении, МПа   | 200000   | 45000–70000  |
| Относительное удлинение, %   | 14   | 1,5–3,0  |
| Характер поведения под нагрузкой (зависимость «напряжение-деформация»)       | Кривая линия с площадкой текучести под нагрузкой   | Прямая линия с упруголинейной зависимостью под нагрузкой до разрушения   |
| Плотность, т/м <sup>3</sup>  | 7,8  | 1,8–1,9  |
| Коррозионная стойкость к агрессивным средам                                  | Корродирует с выделением продуктов ржавчины  | Нержавеющий материал первой группы химической стойкости, в том числе к щелочной среде бетона                   |
| Теплопроводность   | Теплопроводна  | Нетеплопроводна  |
| Электропроводность   | Электропроводна  | Неэлектропроводна-диэлектрик   |
| Наружные диаметры выпускаемых профилей, мм                                   | 6–40   | 4–80   |
| Длина стержня, м   | 6–12   | Любая длина по требованию заказчика  |
| Экологичность  | Экологична   | Не выделяет вредных и токсичных веществ при хранении и эксплуатации  |
| Долговечность  | В зависимости от условий эксплуатации и антикоррозийной защиты   | Не менее 50 лет, даже в морской воде   |
| Замена по физико-механическим свойствам                                      | 6А-III, 8А-III, 12А-III, 14А-III, 16А-III и т. д.  | АСП-4, АСП-6, АСП-8, АСП-10, АСП-12  |
| Параметры равнопрочного арматурного каркаса при нагрузке 25 т/м <sup>2</sup> | При использовании арматуры 8А-III, размер ячейки 14х14 см. Вес 5.5 кг/м <sup>2</sup>                       | При использовании арматуры АСП-8 размер ячейки 23х23 см. Вес 0,61 кг/м <sup>2</sup><br>Уменьшение веса в 9 раз |
| Сравнительная длина и масса арматур  | 6А-III — 4504 м/т<br>8А- III — 2531 м/т<br>12А- III — 1126 м/т<br>14А- III — 826 м/т<br>16А- III — 632 м/т | АСП-4–48780 м/т<br>АСП-6–20618 м/т<br>АСП-8–11299 м/т<br>АСП-10–7092 м/т<br>АСП-12–4897 м/т                    |

Таблица 2. Минимальный процент армирования согласно СП 63.13330.2012

| Условие использования сечения по СП 63.13330.2012  | Арматура                  |                         |
|--|---------------------------|-------------------------|
|  | Металлическая — п. 10.3.6 | Композитная — п. Л. 5.4 |
| При использовании в изгибаемых, внецентренно растянутых элементах и внецентренно сжатых элементах при гибкости $\frac{l_0}{i} \leq 17$ (для прямоугольных сечений $\frac{l_0}{h} \leq 5$ ) | 0,10                      | 0,13                    |
| При использовании во внецентренно сжатых элементах при гибкости $\frac{l_0}{i} \leq 87$ (для прямоугольных сечений $\frac{l_0}{h} \leq 25$ )   | 0,25                      | 0,33                    |

Для обеспечения требований по пожарной безопасности защитные слои при использовании композитной арматуры будут существенно выше, чем при использовании стальной. Деградация свойств композитной арматуры наступает при нагреве до  $+100^{\circ}\text{C}$ , для стальной — при  $+600^{\circ}\text{C}$ . Например, для колонны сечением  $200 \times 200$  мм:

— при требовании R30 защитный слой композитной арматуры составит не менее 50 мм, стальной арматуры — 20 мм;

— при требовании R60 — композитная арматура уже теряет несущую способность, так как всё сечение прогревается более чем на  $100^{\circ}\text{C}$ , а при использовании стальной арматуры защитный слой составит лишь 30 мм.

Помимо уже перечисленных сдерживающих факторов использования ПКА можно еще назвать и то, что на текущий момент не существует расчётных комплексов, в которых можно подобрать композитную арматуру автоматизированным способом, а, следовательно, необходимо производить ручной расчёт с подбором арматуры по первому и второму предельным состояниям (по прочности —

I предельное состояние, по трещиностойкости и прогибам — II второе предельное состояние) [23].

### Выводы

Таким образом, композитную арматуру можно применять на тех объектах, конструктивные решения которых не проходят экспертизу, либо имеют специфические требования, например, по коррозионной стойкости, что являлось бы обоснованием использования ПКА.

Кроме того, применение композитной арматуры без преднапряжения приводит либо к образованию трещин и увеличению прогибов конструкций, либо к завышению армирования для исключения прогибов и трещин [24].

На основании всего вышесказанного можно заключить, что область рационального применения композитной арматуры весьма ограничена: армирование дорожного полотна либо железнодорожных шпал, дорожных и тротуарных плит, в меньшей степени — протяженных фундаментов, либо настилов и ограждений мостов.

### Литература:

1. Behavior of slabs reinforced using square gfrp rebars / Tarek E., Hesham H., Awad H., Hassan A. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1 (13). с. 78–88.
2. Власенко, Ф. С. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях // Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов. 2013. № 8. с. 3.
3. Полилов, А. Н., Татусь Н. А. Экспериментальное обоснование критериев прочности волокнистых композитов, проявляющих направленный характер разрушения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2012. № 2. с. 140–166.
4. Староверов, В. Д., Бароев Р. В., Цурупа А. А., Кришталевиц А. К. Композитная арматура: Проблемы применения // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). с. 171–178.
5. Гиль, А. И., Бадалова Е. Н., Лазовский Е. Д. Стеклопластиковая и углепластиковая арматура в строительстве: преимущества, недостатки, перспективы применения // Вестник полоцкого государственного университета. Серия f: строительство. Прикладные науки. 2015. № 16. с. 48–53.
6. Птухина, И. С., Туркебаев А. Б., Тлеуханов Д. С., Бижанов Н. Ж., Далабаева А. Е., Далабаев А. С. Эффективность использования инновационных композитных материалов в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9 (24). с. 84–96.
7. Теплостандарт проект [Электронный ресурс]. URL: <http://ts-project.ru> (дата обращения 16.06.2016).
8. Пономарев, А. Н., Моспан Е. А. Анализ направлений использования нанокompозитной арматуры «астрофлекс» в промышленном и транспортном строительстве // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 3. с. 69–74.
9. Лапшинов, А. Е. Исследование работы СПА и БПА на сжатие // Вестник МГСУ. 2014. № 1. с. 52–57.
10. Середина, О. С. Стеклопластиковая арматура в современном строительстве // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет». 2013. с. 63–70.
11. Польской, П. П., Маилян Д. Р. Композитные материалы — как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4–2 (23). с. 162
12. Окольников, Г. Э., Герасимов С. В. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве // Экология и строительство. 2015. № 3. с. 14–21.
13. Фролов, Н. П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1980. — 104 с.
14. Корнюшин, В. М., Кушев И. Е., Коченов В. В. Стеклопластиковая и базальтопластиковая композитная арматура // Новые технологии в науке, образовании, производстве. 2014. с. 440–447.
15. ООО НПО «Структура» [Электронный ресурс]. URL: <http://npostruktura.com> (дата обращения 12.08.2016).

16. Gscheider Alfred. Anwendungsbeispiele für das Auftragschweißen nach dem Ellira-Verfahren. «Schweißtechnik» (Oster) № 10. — 2012. — P. 113–115.
17. Испытания на длительную прочность стержней из композиционных материалов/Блазнов А. Н., Волков Ю. П., Луговой А. Н., Савин В. Ф.//Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2006. № 2. с. 44–52.
18. Башара, В. А., Савин В. Ф. Стеклопластиковая арматура в современном домостроении//Строительные материалы. 2000. № 4. с. 6–8.
19. Студенцов, В. Н., Черемухина И. В., Кузнецов В. А. Применение полимерных стержней из реактопластов для армирования цементных бетонов// Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 1. с. 118–121.
20. Янковский, А. П. Идентификация структур армирования композитных конструкций на основе результатов теплофизических экспериментов об установившихся колебаниях температуры// Инженерно-физический журнал. 2011. Т. 84. № 2. с. 324–333.
21. Мустакимов, В. Р., Авхадеев Р. Р. К вопросу остаточной прочности строительных конструкций. Оптимально достаточные способы их восстановления при реконструкции// Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 1 (15). с. 104–108.
22. Логвин, В. А., Жолобов А. А., Котиков П. Ф. Преимущества лезвийной обработки для формообразования валов суперкаландров // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. № 3. с. 82–91.
23. Raffaello, F. Limit States design of concrete structures reinforced with FRP BARS [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://www.fedoa.unina.it/1896/1/Fico\\_Ingegneria\\_dei\\_Materiali\\_e\\_delle\\_Strutture.pdf](http://www.fedoa.unina.it/1896/1/Fico_Ingegneria_dei_Materiali_e_delle_Strutture.pdf) (дата обращения 17.09.2013)
24. Адищев, В. В., Демешкин А. Г., Роот В. В. Экспериментальное исследование процесса возникновения трещин нормального отрыва в изгибаемых армированных элементах // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. с. 119–126.

## Преимущества применения асфальтогранулобетонных смесей на вспененном битуме

Волинцев Павел Андреевич, магистрант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (г. Омск)

*В статье приведены достоинства асфальтобетонной смеси на вспененном битуме для обеспечения качественного строительства по показателям, регламентируемым СП 78.13330–2012.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, покрытие, укладка асфальтобетона

В современных условиях эксплуатации покрытия автомобильных дорог подвергаются воздействию интенсивных динамических нагрузок [1], вызывающих эффекты возникновения волн напряжений [2, 3]. Такие нагрузки не учитываются современными нормами по проектированию дорожных одежд. Ввиду такого обстоятельства асфальтобетонные покрытия в своей структуре накапливают повреждения [4–6], которые могут привести к дефектам хрупкого и пластического разрушения, в частности сдвигу. Поэтому среди современных методов расчета асфальтобетонных покрытий появляются методики расчета этой конструкции по сдвигу [7, 8] и пластическому деформированию [9, 10]. В этих методах предполагается, что при высоких летних температурах вязкость битума падает и асфальтобетон работает в условиях трехосного сжатия, потеряв способность к изгибу. Поэтому к расчету асфальтобетонных покрытий на сдвиг применяется арсенал грунтовых условий пластич-

ности [11–13] и методов расчета главных напряжений в них [14–16].

Поэтому современные дорожные покрытия должны обладать качествами, обеспечивающими долговечность, износостойкость и надежное сцепление покрытия с подстилающим основанием. Эти требования привели к изготовлению дорожных покрытий из вторично перерабатываемых материалов, что дает возможность уменьшить энергетические затраты за счет экономии первичных материалов, сокращения сроков выполнения работ и затрат на строительство дорог. Данная технология включает в себя:

- предварительное измельчение старого дорожного покрытия;
- смешивание фрагментов снятого покрытия (крошки) с цементом и другими добавками;
- укладку и последующее уплотнение.

Большую популярность имеет технология «вспененного асфальта», которая предусматривает применение

вторичных материалов, которые смешиваются с другими подогреваемыми компонентами (основой является вспененный ингредиент). При высокой температуре в процессе впрыскивания воды в данной смеси образуется водяной пар, создаются мелкие пузырьки, что облегчает процесс перемешивания смеси за счет увеличения ее объема и уменьшения вязкости. Материал, полученный таким образом, называют асфальтогранулобетонной смесью типа В, которая по величине показателей механических свойств сопоставима с пористым асфальтобетоном.

Отличительной особенностью данного вида дорожного покрытия является наличие хорошего сцепления с предварительно уложенными слоями и колесами транспортных средств. Данное обстоятельство ведет к снижению числа дорожно-транспортных происшествий за счет повышения сдвигоустойчивости слоев дорожного полотна, как при укладке, так и при эксплуатации. Еще одним достоинством «вспененного асфальта» является то, что его производство менее затратное, чем производство традиционной асфальтовой смеси, что означает снижение расходов на строительство дорог.

#### Литература:

1. Смирнов, А. В., Андреева Е. В., Герцог В. Н. Воздействие подвижных нагрузок на покрытия и основания автомагистралей // В сборнике: Актуальные проблемы архитектуры и строительства Материалы международной научно-практической конференции. 2014. с. 117–124.
2. Смирнов, А. В., Андреева Е. В., Кузин Н. В. Гашения колебаний и резонанс в дорожных конструкциях. // Наука и техника в дорожной отрасли, № 3 – 2006, с. 39–41.
3. Смирнов, А. В., Андреева Е. В., Игнатов В. Ф. Динамические процессы в дорожных конструкциях // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. — № 5 — с. 81–86.
4. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
5. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Учет поврежденности структуры асфальтобетона в критериях прочности и условиях пластичности // В сборнике: Политранспортные системы материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия — ЕС. Новосибирск: СГУПС, 2015. — с. 219–225.
6. Александрова, Н. П., Чусов В. В. Применение интегральных уравнений наследственных теорий для расчета изменения мер теории поврежденности при воздействии повторных нагрузок (eng) // Инженерно-строительный журнал. — 2016. № 2 (62). — с. 69–82.
7. Александрова, Н. П., Чусов В. В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
8. Чусов, В. В., Александрова Н. П. Два способа расчета мер теории накапливания повреждений // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016 — с. 271–275.
9. Александров, А. С. Расчет пластических деформаций материалов и грунтов дорожных конструкций при воздействии транспортной нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2009. — № 2. — с. 3–11.
10. Стригун, Т. В., Александрова Н. П. Моделирование пластических деформаций дискретных материалов в слоях дорожных конструкций // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. — с. 229–233.
11. Александров, А. С. Трехпараметрическое условие пластичности Кулона-Мора. Часть 1. Вывод критерия. // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. — с. 50–54.
12. Александров, А. С., Долгих Г. В. Модификация критерия Кулона-Мора для расчета конструкций лесных дорог по сопротивлению сдвигу. Часть 1. Ввод третьего параметра материала // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6–2 (48). с. 6–9.
13. Александров, А. С., Долгих Г. В. Александрова Н. П. Модифицированный критерий Кулона — Мора. Часть 1. Вывод уравнения предельного равновесия. // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 17–18.
14. Александров, А. С., Долгих Г. В. Александрова Н. П. Расчет минимальных главных напряжений в грунтовом полупространстве // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 21–23.
15. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. П. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Часть 2. Модифицированные модели расчета главных и касательных напряжений // Инженерно-строительный журнал. — 2016. № 2 (62). — С. 51–68.

16. Александров, А. С., Долгих Г. В. Александрова Н. П. Расчет минимальных главных напряжений в слое конечной толщины // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 23–24.

## Преимущества устройства тонкослойных асфальтобетонных покрытий

Волинцев Павел Андреевич, магистрант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (г. Омск)

*В статье приведены достоинства асфальтобетонной смеси на вспененном битуме для обеспечения качественного строительства по показателям, регламентируемым СП 78.13330–2012.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, покрытие, укладка асфальтобетона

Анализ работ, выполненных в области изучения условий работы дорог в сложных природных условиях [1] показывает, что асфальтобетонные покрытия со стороны транспортных средств воспринимают динамические нагрузки, которые приводят к возникновению динамических напряжений [2] и могут вызвать резонанс [3]. В свою очередь эти агрессивные с позиции напряженного состояния покрытия факторы обуславливают более интенсивное развитие повреждений асфальтобетона. Специалисты дорожной отрасли предпринимают попытки разработки критериев прочности [4–6] и условий пластичности [7, 8], включающие меры теории повреждения. При разработке методов расчета асфальтобетонных покрытий по сдвигу и накоплению пластических деформаций в работах [7, 8] предполагается, что с повышением температура вязкость битума в покрытии уменьшается. Это приводит к утрате покрытием важнейшего свойства изгибаться под воздействием нагрузки. Потеря способности к изгибу приводит к тому, что асфальтобетон работает в условиях трехосного сжатия, вследствие чего деформируется подобно дискретным материалам [9, 10]. Трехосное сжатие и сдвиги в асфальтобетонном покрытии привели к тому, что для их расчета применяют грунтовые критерии [11–13] и методы расчета главных напряжений в дискретных материалах [14–16]. Отсюда вытекает актуальность работ, направленных на разработку технологий устройства многослойных, но тонкослойных покрытий, которые подобно пластинам способны работать на изгиб в условиях высоких летних температур, что повышает устойчивость к образованию колеи.

Такие технологии предусматривают наложение одного материала на другой путем одновременного формирования двух слоев. За счет отсутствия зазора между двумя слоями создается конструктивно неразделимая, монолитная структура. Одновременная укладка двух слоев сокращается время производства работ и дает возможность укладки тонких слоев покрытий из специальных смесей повышенного качества. Изготовление дорожного покрытия, которое имеет надежное сцепление с асфальтом снизу и пропускающую воду пористую структуру сверху, обеспечивает технология изготовления дренирующего асфальта. Основными отличиями данного вида асфальта от других дорожных покрытий является повышенная безопасность движения транспортных средств во время дождя, меньший уровень шума и пониженное образование луж, что исключает брызги воды. Для снижения количества связанных с проведением дорожных работ аварийных ситуаций используется технология изготовления дорожных покрытий с подбором скоростных режимов их укладки. Эта технология предусматривает наличие свободной дорожной площади, на которой производятся работы, а также наличие длинной и прямолинейной рабочей зоны для перемещения дорожного оборудования. Способность дорожной смеси к перемешиванию повышается в ходе ее приготовления и нагрева до требуемой температуры. Имеется возможность понизить температуру смеси до окончания укладочных работ примерно на 30 градусов. Благодаря повышению пластичности смеси улучшаются параметры укладки.

Литература:

1. Смирнов, А. В., Кузин Н. В. Строительство автомобильных дорог и аэродромов в сложных природных условиях севера России. // Наука и техника в дорожной отрасли. 2007. № 4. с. 16–17.
2. Смирнов, А. В., Андреева Е. В., Герцог В. Н. Воздействие подвижных нагрузок на покрытия и основания автомагистралей // В сборнике: Актуальные проблемы архитектуры и строительства Материалы международной научно-практической конференции. 2014. с. 117–124.
3. Смирнов, А. В., Андреева Е. В., Кузин Н. В. Гашения колебаний и резонанс в дорожных конструкциях. // Наука и техника в дорожной отрасли, № 3 – 2006, с. 39–41.

4. Александрова, Н.П., Александров А.С., Чусов В.В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
5. Александрова, Н.П., Александров А.С., Чусов В.В. Учет поврежденности структуры асфальтобетона в критериях прочности и условиях пластичности // В сборнике: Политранспортные системы материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия — ЕС. Новосибирск: СГУПС, 2015. — с. 219–225.
6. Александрова, Н.П., Чусов В.В. Применение интегральных уравнений наследственных теорий для расчета изменения мер теории поврежденности при воздействии повторных нагрузок (eng) // Инженерно-строительный журнал. — 2016. № 2 (62). — с. 69–82.
7. Александрова, Н.П., Чусов В.В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
8. Чусов, В.В., Александрова Н.П. Два способа расчета мер теории накапливания повреждений // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016 — с. 271–275.
9. Александров, А.С. Расчет пластических деформаций материалов и грунтов дорожных конструкций при воздействии транспортной нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2009. — № 2. — с. 3–11.
10. Стригун, Т.В., Александрова Н.П. Моделирование пластических деформаций дискретных материалов в слоях дорожных конструкций // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. — с. 229–233.
11. Александров, А.С. Трехпараметрическое условие пластичности Кулона-Мора. Часть 1. Вывод критерия. // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. — с. 50–54.
12. Александров, А.С., Долгих Г.В. Модификация критерия Кулона-Мора для расчета конструкций лесных дорог по сопротивлению сдвигу. Часть 1. Ввод третьего параметра материала // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6–2 (48). с. 6–9.
13. Александров, А.С., Долгих Г.В. Александрова Н.П. Модифицированный критерий Кулона — Мора. Часть 1. Вывод уравнения предельного равновесия. // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 17–18.
14. Александров, А.С., Долгих Г.В. Александрова Н.П. Расчет минимальных главных напряжений в грунтовом полупространстве // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 21–23.
15. Александров, А.С., Долгих Г.В., Калинин А.П. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Часть 2. Модифицированные модели расчета главных и касательных напряжений // Инженерно-строительный журнал. — 2016. № 2 (62). — с. 51–68.
16. Александров, А.С., Долгих Г.В. Александрова Н.П. Расчет минимальных главных напряжений в слое конечной толщины // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 23–24.

## Преимущества асфальтобетонных покрытий с резиновой крошкой

Волынцев Павел Андреевич, магистрант

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (г. Омск)

*В статье приведены достоинства асфальтобетонной смеси на вспененном битуме для обеспечения качественного строительства по показателям, регламентируемым СП 78.13330–2012.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, покрытие, укладка асфальтобетона

Современные условия работы дорог приводят к возникновению ряда негативных факторов влияющих на напряженно-деформированное состояние асфальтобетонных покрытий [1]. Прежде всего это касается возникновения повреждений в структуре асфальтобетона, которые носят когезионный или адгезионный ха-

рактер. Независимо от природы возникновения повреждений, они снижают срок службы покрытия по прочности и сдвигоустойчивости. Это подтверждают работы, направленные на учет мер теории накапливания повреждений в критериях прочности [4–6] и условиях пластичности [7, 8].

Наибольшая интенсивность накапливания повреждений имеет место в период наибольших летних температур, что обусловлено потерей асфальтобетонными слоями способности работать на изгиб, в результате чего в покрытии возникает трехосное сжатие. В этом случае напряженно-деформированное состояние асфальтобетонного покрытия подобно НДС дискретных материалов и грунтов. Из-за чего модели деформирования дискретных материалов [9, 10] и условия пластичности грунтов [11–13] положены в основу новых расчетов асфальтобетона [4–8]. Более того расчет напряжения сжатия выполняют в соответствии с методами расчета главных напряжений в грунтах и дискретных материалах [14–16].

Обеспечить работу асфальтобетонного покрытия на изгиб, исключив трехосное сжатие, можно конструктивными мероприятиями, к которым относят: армирование стальными и геосинтетическими материалами, а также добавку в асфальтобетонную смесь различных ПАВ (поверхностно активных веществ) и резиновой крошки. Резиновая крошка способствует повышению упругости асфальтобетона и увеличивает их эксплуатационную долговечность по показателям ровности. Такие покрытия можно не ремонтировать длительное время эксплуатации, так как они служат значительно дольше обычных

покрытий. Дорожное полотно часто конструктивно исполняется в виде композиционного асфальтового покрытия и изготовленного из армированного бетона верхнего слоя. Однако в некоторых случаях при использовании в нижнем слое композитного покрытия на нем могут образовываться рефракционные трещины. Благодаря данной технологии укладки достигается соответствующая стандартам ровность и создается низкий уровень шума и вибрации. Добавление в подготавливаемую смесь частиц резины определенного размера, которые обладают высокими механическими свойствами, предусматривает технология изготовления дренажных покрытий с использованием резиновой крошки. Такое покрытие обладает значительно большим шумопоглощением и стандартными показателями водопоглощения и водостойкости. Регулирование степени водопроницаемости покрытия обеспечивается за счет специальных методик механического упрочнения поверхности. Данная технология позволяет снизить энергозатраты и повысить эффективность работ при укладке бетонных смесей. В отличие от других известных технологий имеется возможность существенно сократить эксплуатационные затраты, в том числе число исполнителей, время проведения укладочных работ, объем используемых материалов.

#### Литература:

1. Смирнов, А. В., Кузин Н. В. Строительство автомобильных дорог и аэродромов в сложных природных условиях севера России. // Наука и техника в дорожной отрасли. 2007. № 4. с. 16–17.
2. Смирнов, А. В., Андреева Е. В., Герцог В. Н. Воздействие подвижных нагрузок на покрытия и основания автомагистралей // В сборнике: Актуальные проблемы архитектуры и строительства Материалы международной научно-практической конференции. 2014. с. 117–124.
3. Смирнов, А. В., Андреева Е. В., Кузин Н. В. Гашения колебаний и резонанс в дорожных конструкциях. // Наука и техника в дорожной отрасли, № 3 – 2006, с. 39–41.
4. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
5. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Учет поврежденности структуры асфальтобетона в критериях прочности и условиях пластичности // В сборнике: Политранспортные системы материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия — ЕС. Новосибирск: СГУПС, 2015. — с. 219–225.
6. Александрова, Н. П., Чусов В. В. Применение интегральных уравнений наследственных теорий для расчета изменения мер теории поврежденности при воздействии повторных нагрузок (eng) // Инженерно-строительный журнал. — 2016. № 2 (62). — с. 69–82.
7. Александрова, Н. П., Чусов В. В. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. № 3 (49). — с. 42–50.
8. Чусов, В. В., Александрова Н. П. Два способа расчета мер теории накапливания повреждений // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016 — с. 271–275.
9. Александров, А. С. Расчет пластических деформаций материалов и грунтов дорожных конструкций при воздействии транспортной нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2009. — № 2. — с. 3–11.
10. Стригун, Т. В., Александрова Н. П. Моделирование пластических деформаций дискретных материалов в слоях дорожных конструкций // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. — с. 229–233.

11. Александров, А. С. Трехпараметрическое условие пластичности Кулона-Мора. Часть 1. Вывод критерия. // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого — взгляд в будущее: материала II международной научно-практической конференции — Омск, СибАДИ, 2016. — с. 50–54.
12. Александров, А. С., Долгих Г. В. Модификация критерия Кулона-Мора для расчета конструкций лесных дорог по сопротивлению сдвигу. Часть 1. Ввод третьего параметра материала // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6–2 (48). с. 6–9.
13. Александров, А. С., Долгих Г. В. Александрова Н. П. Модифицированный критерий Кулона-Мора. Часть 1. Вывод уравнения предельного равновесия. // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 17–18.
14. Александров, А. С., Долгих Г. В. Александрова Н. П. Расчет минимальных главных напряжений в грунтовом полупространстве // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 21–23.
15. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. П. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Часть 2. Модифицированные модели расчета главных и касательных напряжений // Инженерно-строительный журнал. — 2016. № 2 (62). — С. 51–68.
16. Александров, А. С., Долгих Г. В. Александрова Н. П. Расчет минимальных главных напряжений в слое конечной толщины // Вестник научных конференций. — 2016. № 5–4 (9). — с. 23–24.

## Подключение акселерометра, выполненного по MEMS-технологии, к микроконтроллеру STM32F407VGT6

Ивашильников Борис Александрович, магистрант;

Коваленко Марк Витальевич, магистрант;

Лесков Олег Михайлович, магистрант

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

*В данной статье рассматривается подключение акселерометра к микроконтроллеру линейки STM32, а также его настройка и получение данных по шине SPI. Работа выполнена на базе отладочного комплекта STM32F4DISCOVERY.*

STM32F4DISCOVERY — высокопроизводительная исследовательская плата для STM32F4 позволяет изучать возможности микроконтроллера STM32F4 и легко разрабатывать собственные приложения. В комплект поставки входит все необходимое, чтобы немедленно начинать разработки, как новичкам, так и опытным пользователям. Основанная на STM32F407VGT6, плата имеет интегрированный отладчик ST-LINK/V2, два ST MEMS, цифровой измеритель ускорения (акселерометр) и цифровой микрофон, один аудио ЦАП с интегрированным драйвером громкоговорителя, работающим в классе D, светодиоды и кнопки, а также разъем USB OTG micro-AB.

MEMS сенсоры подразделяются на два вида: сенсоры — измерительные устройства, которые преобразуют те или иные физические воздействия в электрический сигнал, и актуаторы (исполнительные устройства) — системы, которые занимаются обратной задачей, то есть преобразуют электрические сигналы в физические воздействия.

Наиболее используемыми из MEMS-сенсоров являются датчики движения. Подобные устройства используются для отслеживания движений в мобильных телефонах, игровых устройствах и ряде других, где присутствует необходимость отслеживать перемещения каких-либо объектов.

Наиболее распространёнными являются датчики, основанные на конденсаторном принципе. Подвижная часть системы — классический грузик на подвесах (Рисунок 1). При наличии ускорения грузик смещается относительно неподвижной части акселерометра. Обкладка конденсатора, прикрепленная к грузику, смещается относительно обкладки на неподвижной части. Емкость меняется, при неизменном заряде меняется напряжение — это изменение можно измерить и рассчитать смещение грузика. Откуда, зная его массу и параметры подвеса, легко найти и искомое ускорение.

На отладочной плате STM32F4DISCOVERY установлен трех-осевой акселерометр LIS3DSH, способный определять ускорение с точностью до 0.06 mg. Данный акселерометр подключается к микроконтроллеру (МК) по шине SPI, после настройки которой, посылая необходимые данные в регистры, производится установка таких параметров, как: пределы измерения, скорость опроса, настройка полосового фильтра для уменьшения «дребезга» показаний и т. д.

Для конфигурации необходимых режимов работы портов МК, а также настройки тактирования используется специальную утилиту STM32CubeMX, после чего создается код рабочей программы в среде Keil µVision 5.

Кроме портов SPI и светодиодно необходимо настроить вывод CS, который отвечает за подключение акселерометра.

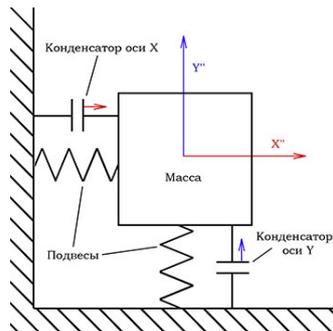


Рис. 1. Устройство конденсаторного датчика

Итоговая настройка МК в утилите STM32CubeMX показана на рисунке 2. Для общения с акселерометром настроена шина SPI1, а для индикации и проверки работоспособности программы 4 светодиода, показывающих в какую сторону наклон акселерометр.

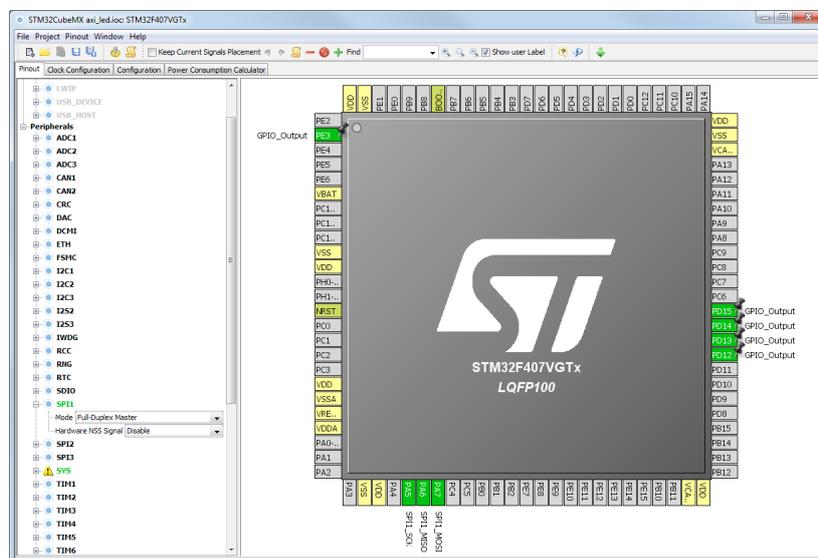


Рис. 2. Настройка МК в программе STM32CubeMX

После чего сгенерирован код проекта для среды Keil  $\mu$ Vision 5. Листинг кода, отвечающего за инициализации SPI1:

```
static void MX_SPI1_Init (void)
{
    hspi1.Instance = SPI1;
    hspi1.Init.Mode = SPI_MODE_MASTER;
    hspi1.Init.Direction = SPI_DIRECTION_2LINES;
    hspi1.Init.DataSize = SPI_DATASIZE_8BIT;
    hspi1.Init.CLKPolarity = SPI_POLARITY_LOW;
    hspi1.Init.CLKPhase = SPI_PHASE_1EDGE;
    hspi1.Init.NSS = SPI_NSS_SOFT;
    hspi1.Init.BaudRatePrescaler = SPI_BAUDRATEPRESCALER_2;
    hspi1.Init.FirstBit = SPI_FIRSTBIT_MSB;
    hspi1.Init.TIMode = SPI_TIMODE_DISABLE;
    hspi1.Init.CRCCalculation = SPI_CRCCALCULATION_DISABLE;
    hspi1.Init.CRCPolynomial = 10;
    if (HAL_SPI_Init (&hspi1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler ();
    }
}
```

Для настройки режима работы акселерометра необходимо записать в данные в регистры акселерометра. Временные диаграммы протокола показаны на рисунке 3.

**5.2.1 SPI read**

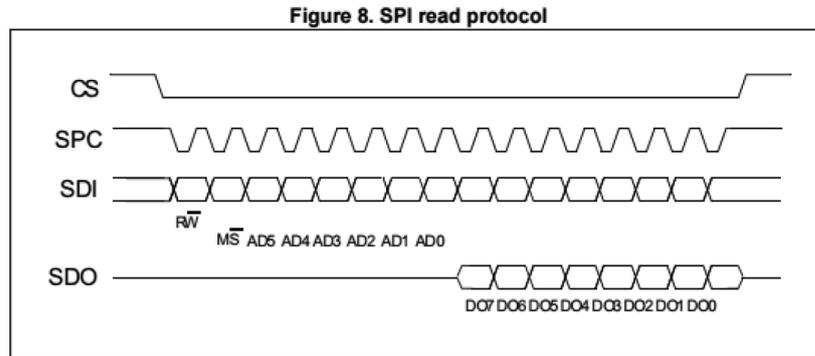


Рис. 3. Протокол SPI

Для обращения к акселерометру перед отправкой адреса регистра информационного пакета выставляем выход микроконтроллера CS = 0, поскольку на акселерометре данный вывод инвертирован.

Для записи информации в регистр необходимо сначала выдать на шину адрес этого регистра, при этом при чтении необходимо установить бит RW = 1, а при записи установить бит RW = 0.

После этого по SPI за 7 тактов передается адрес внутреннего регистра акселерометра, после чего в зависимости от режима чтение/запись в течении 8 тактов выдается новое значение регистра, либо посылается пустой байт, после которого необходимо считать текущее значение опрашиваемого регистра. По окончании цикла чтения/записи выставляем CS = 1.

За настройку скорости работы акселерометра и включение/выключение осей отвечает регистр CTRL\_REG4, с адресом 0x20. Биты данного регистра приведены на рисунке 4.

**Table 21. Control register 4**

|      |      |      |      |     |     |     |     |
|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| ODR3 | ODR2 | ODR1 | ODR0 | BDU | Zen | Yen | Xen |
|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|

Рис. 4. Регистр CTRL\_REG4

Старшие 4 бита отвечают за настройку скорости опроса внутренних схем датчика. Бит BDU выключает или отключает обновление младшего регистра данных, при условии, что старший бит данных оси акселерометра был считан. Три младших бита включают или выключают оси X, Y и Z.

Для нашего случая установим скорость опроса датчика = 50Hz, BDU = 0 и включим оси X и Y. В этом случае нам требуется записать в регистр бит 0x53.

Листинг функции, отвечающей за инициализацию акселерометра:

```
void Acc_Init (void)
{
    uint8_t Reg_ctrl_4 = 0x20;
    uint8_t acc_set = 0x53;
    HAL_GPIO_WritePin (GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_SPI_Transmit (&hspi1, &Reg_ctrl_4, 1, 100);
    HAL_SPI_Transmit (&hspi1, &acc_set, 1, 100);
    HAL_GPIO_WritePin (GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_SET);
}
```

После инициализации акселерометра можно приступить к считыванию данных.

Акселерометр выдает 16-битные значения, считывание которых происходит путем обращения к двум 8-битным регистрам: старшему и младшему. При этом максимальное значение равняется 0xFFFF, что соответствует максимальному ускорению, совпадающему с положительным направлением оси. По умолчанию акселерометр настроен на пределы из-

мерения — +2g. Это означает, что значению 0xFFFF соответствует ускорение 2g, а 0x0000 соответствует -2g. Данную особенность необходимо учесть при обработке данных, а именно, в зависимости от полученного значения либо «опустить», либо «поднять» значение на 0x8000, при этом установив флаг, означающий положительное значение или отрицательное в 1 или 0 соответственно.

Для чтения информации считываем значения старшего и младшего регистров, после чего производим сдвиг старшего на 8 бит влево и присваиваем младшим битам значения младшего регистра.

Адреса регистров данных для осей X и Y приведены на рисунке 5.

|         |   |    |          |
|---------|---|----|----------|
| OUT_X_L | г | 28 | 00101000 |
| OUT_X_H | г | 29 | 00101001 |
| OUT_Y_L | г | 2A | 00101010 |
| OUT_Y_H | г | 2B | 00101011 |

Рис. 5. Адреса регистров данных

Для чтения значений данных регистров устанавливаем бит RW = 1. Стоит отметить, что при работе с библиотекой HAL нет необходимости посылать пустой бит для считывания данных, поскольку функция считывания делает это самостоятельно.

Листинг функций получения и обработки значений регистров для оси X приведены ниже.

```
void X_read (void)
{
    HAL_GPIO_WritePin (GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_SPI_Transmit (&hspi1, &X_read_H, 1, 100);
    HAL_SPI_Receive (&hspi1, &OUT_X_H, 1, 100);
    HAL_GPIO_WritePin (GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_SET);
    HAL_GPIO_WritePin (GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_SPI_Transmit (&hspi1, &X_read_L, 1, 100);
    HAL_SPI_Receive (&hspi1, &OUT_X_L, 1, 100);
    HAL_GPIO_WritePin (GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_SET);
    X_16bit = ( (OUT_X_H<<8) | (OUT_X_L));
}

void X_Proc (void)
{
    if (X_16bit >= 0x8000) {
        X_norm = X_16bit — 0x8000;
        zeroX = 1;}
    else {
        X_norm = 0x8000 — X_16bit;
        zeroX = 0;
    }
}
```

После выполнения данной функции глобальным переменным X\_norm и zeroX присваиваются значения текущего ускорения и направления, по которому оно действует. Для оси Y функции выглядят аналогично.

После этого в зависимости от полученных данных зажигаем необходимые светодиоды.

```
if (X_norm <= 0x6000)
{
    if (zeroX == 1)
    {
        HAL_GPIO_WritePin (GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin (GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_SET);
    }
}
else
```

```
{
  HAL_GPIO_WritePin (GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
  HAL_GPIO_WritePin (GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET);
}
else {
  HAL_GPIO_WritePin (GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
  HAL_GPIO_WritePin (GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET);
}
}
```

На этом написание управляющей программы завершено. После компилирования и загрузки программы во flash-память убеждаемся в правильности написания программы.

Литература:

1. Лабораторный практикум для изучения микроконтроллеров архитектуры ARM Cortex-M4 на базе отладочного модуля STM32F4 Discovery / Бугаев В. И., Мусиенко М. П., Крайнык Я. М. — Москва-Николаев: МФТИ-ЧГУ, 2013. — 71 с.
2. Мартин, Т. // Применение микроконтроллеров AVR: схемы алгоритмы программы, 2-е изд. испр. / Мартин Т. — Москва: Издательский дом «Додэка-XXI» 2006. — 288 с.: ил.
3. STMicroelectronics. MEMS digital output motion sensor: ultra-low-power high-performance three-axis «nano» accelerometer / DocID022405 Rev 22015.
4. STMicroelectronics. RN0094 Release note. STM32CubeMX release 4.16.0 / DocID025911 Rev 232016.

## Реализация VGA-интерфейса на базе FPGA фирмы Altera

Ивашильников Борис Александрович, магистрант;

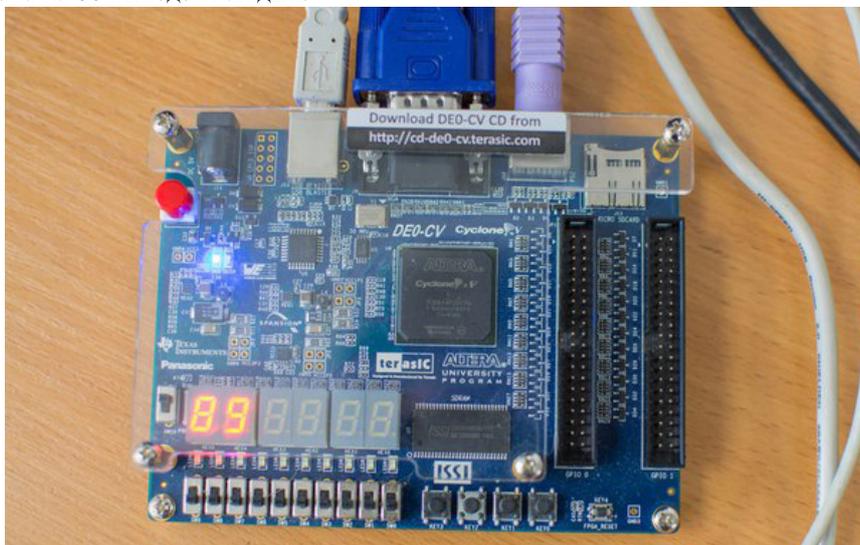
Коваленко Марк Витальевич, магистрант;

Лесков Олег Михайлович, магистрант

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Реализация работы происходит на базе отладочной платы фирмы Terasic DE0-CV. DE0-CV это официальная отладочная плата, распространяемая Altera, ее цена составляет 150\$, а по академической 99\$. На самой плате имеем:

- шесть семисегментных индикаторов, 10 светодиодов, 10 переключателей, 4 кнопки
- VGA разъем, PS/2 разъем, слот под micro SD карту
- SDRAM память объемом 64Мбайта
- два GPIO разъема на 35 выводов каждый.



Сам камень, установленный на плату, имеет следующие характеристики Cyclone V 5CEBA4F23C7N Device:

- 49К логических вентиляей
- 3080 Kbits встроенной памяти
- 4 PLLs
- 1 физический контролер памяти

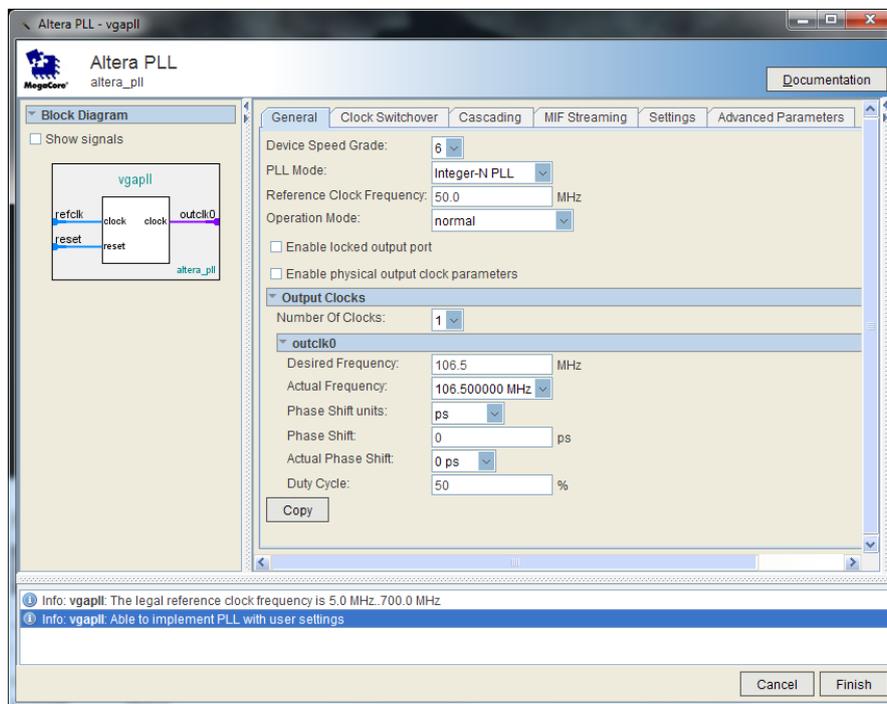
**Работа VGA-блока.**

Плата DE0 снабжена VGA выходом, в качестве ЦАП для выходов RGB используется простая схема на резисторах. Интерфейс модуля выглядит следующим образом:

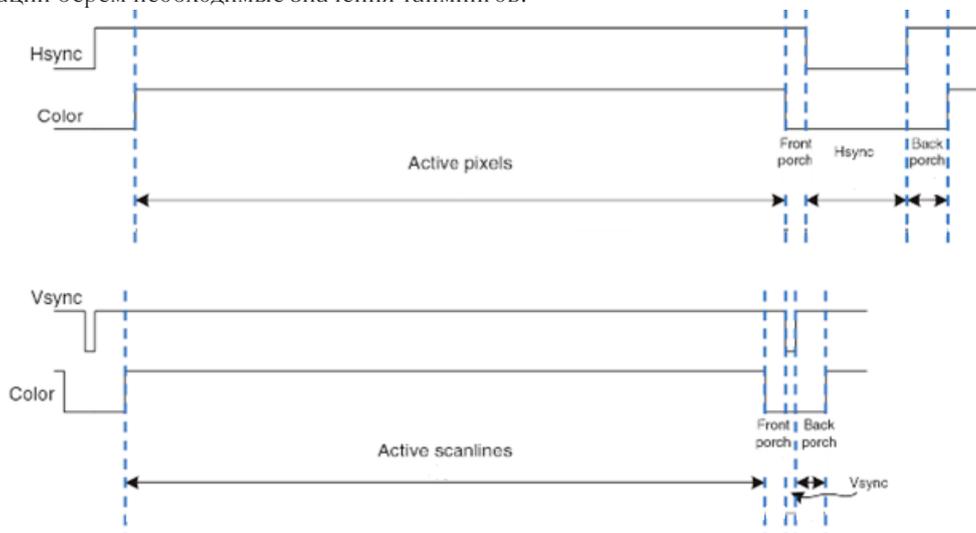
```
module vga (
    input wire pixel_clock,
    output reg hsync,
    output reg vsync,
    output reg [11:0] rgb
```

Для начала работы с VGA нам нужно заглянуть в спецификацию VESA (<http://tinyvga.com/vga-timing>) и выбрать нужный режим работы. Соответственно посмотреть частоту необходимую и тайминги. Выберем видеорежим 1440x900@60Hz. Необходимая тактовая частота для этого режима 106,5МГц.

На плате установлен кварц на 50МГц, с помощью специального блока PLL мы можем производить преобразование 50МГц в нужные нам 106,5. Для этого нам необходимо вытащить нужный блок на рабочую область и произвести его настройку.



Из документации берем необходимые значения таймингов:



Для более гибкой настройки модуля для работы с разными разрешениями экрана, константы отвечающие за значения таймингов вынесены отдельно и выполнены в параметрическом варианте:

```
parameter h_front_porch = 80;
parameter h_sync = 152;
parameter h_back_porch = 232;
parameter h_active_pixels = 1440;
```

```
parameter v_front_porch = 3;
parameter v_sync = 6;
parameter v_back_porch = 25;
parameter v_active_scanlines = 900;
```

При каждом положительном фронте поступившем на вход `pixel_clock`, увеличиваем на единицу счетчик `pixel_count` и в зависимости от его значения выставляется нужный логический уровень на выход горизонтальной синхронизации `hsync`.

```
wire w_hsync = (pixel_count < h_sync);

always @(posedge pixel_clock)
begin
    hsync <= (pixel_count < h_sync);
    hvisible <= (pixel_count >= (h_sync+h_back_porch)) && (pixel_count < (h_sync+h_back_porch+h_active_
pixels));

    if(pixel_count < (h_sync+h_back_porch+h_active_pixels+h_front_porch) ) begin
        pixel_count <= pixel_count + 1'b1;
        char_count <= pixel_count;
    end
    else
    begin
        pixel_count <= 0;
    end
end
```

Когда счетчик `pixel_count` доходит до конца строки, происходит увеличение счетчика строк `line_count` и соответственно в зависимости от заданных ранее параметров выставляются нужные значения на выход вертикальной синхронизации `vsync`.

```
wire w_hsync_buf = w_hsync & ~hsync;

always @(posedge pixel_clock)
begin
    if(w_hsync_buf)begin
        vsync <= (line_count < v_sync);
        vvisible <= (line_count >= (v_sync+v_back_porch)) && (line_count < (v_sync+v_back_porch+v_active_scan-
ilines));

        if(line_count < (v_sync+v_back_porch+v_active_scanlines+v_front_porch) )begin
            line_count <= line_count + 1'b1;
            line_count_out <= line_count;
        end
        else
        begin
            line_state <= 0;
            line_count <= 0;
        end
    end
end
```

Когда pixel\_count и line\_count попадают в диапазон, принадлежащий видимой части экрана как по горизонтали, так и по вертикали, то visible выставляется в высокий уровень, тем самым разрешая блоку game начинать отрисовку экрана:

```
always @ (hvisible or vvisible)
begin
    visible = hvisible & vvisible;
end
```

В случае если visible принимает истинное значение, то выходному регистру rgb производится присвоение необходимого значения, что и отображается на мониторе.

**Заключение**

Реализуя проект, мы увидели, что с помощью FPGA достаточно просто можно реализовывать сложные интерфейсы такие как VGA, с очень высокими требованиями к таймингам которые трудно выдержать используя МК.

Статистика по занимаемым ресурсам в FPGA:

| Flow Summary                    |  |
|---------------------------------|--|
| Flow Status                     | Successful - Mon Aug 29 18:06:41 2016      |
| Quartus II 64-Bit Version       | 15.0.0 Build 145 04/22/2015 SJ Web Edition |
| Revision Name                   | vga_console                                |
| Top-level Entity Name           | vga_console                                |
| Family                          | Cyclone V                                  |
| Device                          | 5CEBA4F23C7                                |
| Timing Models                   | Final                                      |
| Logic utilization (in ALMs)     | 19 / 18,480 ( < 1 % )                      |
| Total registers                 | 29   |
| Total pins                      | 15 / 224 ( 7 % )                           |
| Total virtual pins              | 0  |
| Total block memory bits         | 0 / 3,153,920 ( 0 % )                      |
| Total DSP Blocks                | 0 / 66 ( 0 % )                             |
| Total HSSI RX PCSs              | 0  |
| Total HSSI PMA RX Deserializers | 0  |
| Total HSSI TX PCSs              | 0  |
| Total HSSI PMA TX Serializers   | 0  |
| Total PLLs                      | 1 / 4 ( 25 % )                             |
| Total DLLs                      | 0 / 4 ( 0 % )                              |

Литература:

1. Журавлев, М. Видеоадаптеры и видеомониторы EGA, VGA и SuperVGA: Справочное пособие. // Звезда и С. М. 1992 г. стр. 140
2. Harris, D. Digital design and computer architecture. // Elsevier, 2013 page 682

## Об определении некоторых геометрических параметров проектируемых площадок

Костюк Сергей Владимирович, директор;  
Мытыев Данил Алимсултанович, начальник отдела;  
Рязанов Антон Валентинович, кандидат технических наук, ведущий инженер  
Уренгойский филиал ПАО «ВНИПИгаздобыча»

*В статье стандартными методами аналитической геометрии определяются высота различных точек и другие геометрические параметры внутри границы проектируемых открытых площадок размещения технологического оборудования для сбора, подготовки и транспорта нефтяной и газовой продукции по координатам этих точек в плане и координатам точек, определяющих положение плоскости площадки в пространстве, приводится компьютерная программа для их вычисления. Статья предназначена для специалистов нефтяной и газовой отраслей промышленности и строительных предприятий, для научных и инженерно-технических работников проектно-конструкторских организаций при проектировании новых, реконструкции и техническом перевооружении существующих объектов добычи газа, газового конденсата, нефти.*

**Ключевые слова:** высота, координата, общее и векторное уравнение плоскости, общее, каноническое и параметрическое уравнения прямых, условия перпендикулярности прямой и плоскости в пространстве, ячейка

В соответствии с 5.3 СНиП 11–02 [1] при инженерно-геодезических изысканиях для строительства, в том числе, выполняются:

- сбор и обработка материалов инженерных изысканий прошлых лет, топографо-геодезических, картографических, аэрофотосъемочных и других материалов и данных;
- создание (развитие) опорных геодезических сетей (плановых сетей 3 и 4 классов и сетей сгущения 1 и 2 разрядов, нивелирной сети II, III и IV классов), а также геодезических сетей специального назначения для строительства;
- создание планово-высотных съемочных геодезических сетей;
- топографическая (наземная, аэрофототопографическая, стереофотограмметрическая и др.) съемка в масштабах 1:10000–1:200, включая съемку подземных и надземных сооружений;
- обновление топографических (инженерно-топографических) планов в масштабах 1:10000–1:200 и кадастровых планов в графической, цифровой, фотографической и иных формах;
- создание (составление) и издание (размножение) инженерно-топографических планов, кадастровых и тематических карт и планов, атласов специального назначения (в графической, цифровой и иных формах) и др.

При этом в соответствии с 5.10 СП 11–104–97 плановое положение пунктов опорной геодезической сети при инженерно-геодезических изысканиях для строительства следует определять методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации, построения линейно-угловых сетей, а также на основе использования спутниковой геодезической аппаратуры (приемники GPS и др.) и их сочетанием [2].

Данные задачи могут быть решены с помощью различных систем автоматизированного проектирования (САПР), таких как: Credo Трансформ, Credo Dat, Credo Топоплан, Credo Нивелир, Credo Транскор — программы для инженерно-геодезических изысканий, землеустроительных и проектных работ, маркшейдерского обеспечения, землеустройства, кадастра, дорожно-транспортного строительства, Топоматик Robug — Геодезия — программа для обработки геодезических измерений, Топаз — топографический пакет землеустроителей, K-MINE — современная компьютерная разработка, позволяющая решать задачи геопространственного анализа данных различной сложности, GeoMax ZGP800, Геодезический калькулятор и другие. Эти программные продукты имеют относительно высокую стоимость и, обычно устанавливаются на стационарных компьютерах в различных проектных, строительных и других организациях.

Однако, при проектировании новых, реконструкции и техническом перевооружении уже существующих объектов добычи газа, газового конденсата, нефти возникает необходимость решения локальных задач, не требующих применения мощных вычислительных программ для автоматического проектирования, таких как, определение высоты различных точек (опор, штуцеров, свечей т. п.) и других геометрических параметров внутри границы проектируемых открытых площадок (например, на установках комплексной подготовки газа: площадок переключающей арматуры, аппаратов воздушного охлаждения, резервуарных парков, горизонтальных факельных установок и др. для размещения технологического оборудования в соответствии с нормативными значениями уклонов, направлений движения транспортируемых сред, взаимного расположения арматуры, фитингов, стыков и т. п.) по координатам  $x$  и  $y$  этих точек в плане и координатам точек, определяющих положение плоскости площадки в пространстве.

В связи возможностью возникновения ситуаций, когда использование мощных САПР затруднительно (например, в командировке и т. п.), а для принятия быстрого предварительного решения необходимо знание основных геометриче-

ских параметров различных точек внутри проектируемых площадок, целью настоящей работы является математическое определение некоторых геометрических значений площадок, а также написание компьютерной программы для их вычисления с помощью стандартного программного обеспечения Microsoft Office — программы Microsoft Excel.

Задача определения высоты Z различных точек строительных площадок, а также задача определения принадлежности (или не принадлежности) точки к известной плоскости и задача определения расстояния от точки до плоскости и другие решаются с помощью стандартных методов аналитической геометрии [3].

Известно, что плоскость может быть задана с помощью 3-х точек A (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>), B (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, z<sub>1</sub>), C (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>, z<sub>2</sub>), не лежащих на одной прямой (рис. 1), векторным уравнением плоскости в координатной записи:

$$\begin{vmatrix} x-x_0 & x_1-x_0 & x_2-x_0 \\ y-y_0 & y_1-y_0 & y_2-y_0 \\ z-z_0 & z_1-z_0 & z_2-z_0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x-x_0 & E & F \\ y-y_0 & H & K \\ z-z_0 & M & N \end{vmatrix} = (x-x_0)H \cdot N + (y-y_0)M \cdot F + (z-z_0)E \cdot K - (x-x_0)M \cdot K - (y-y_0)E \cdot N - (z-z_0)H \cdot F = 0 \quad (1)$$

где E=x<sub>1</sub>-x<sub>0</sub>, F=x<sub>2</sub>-x<sub>0</sub>, H=y<sub>1</sub>-y<sub>0</sub>, K=y<sub>2</sub>-y<sub>0</sub>, M=z<sub>1</sub>-z<sub>0</sub>, N=z<sub>2</sub>-z<sub>0</sub>.

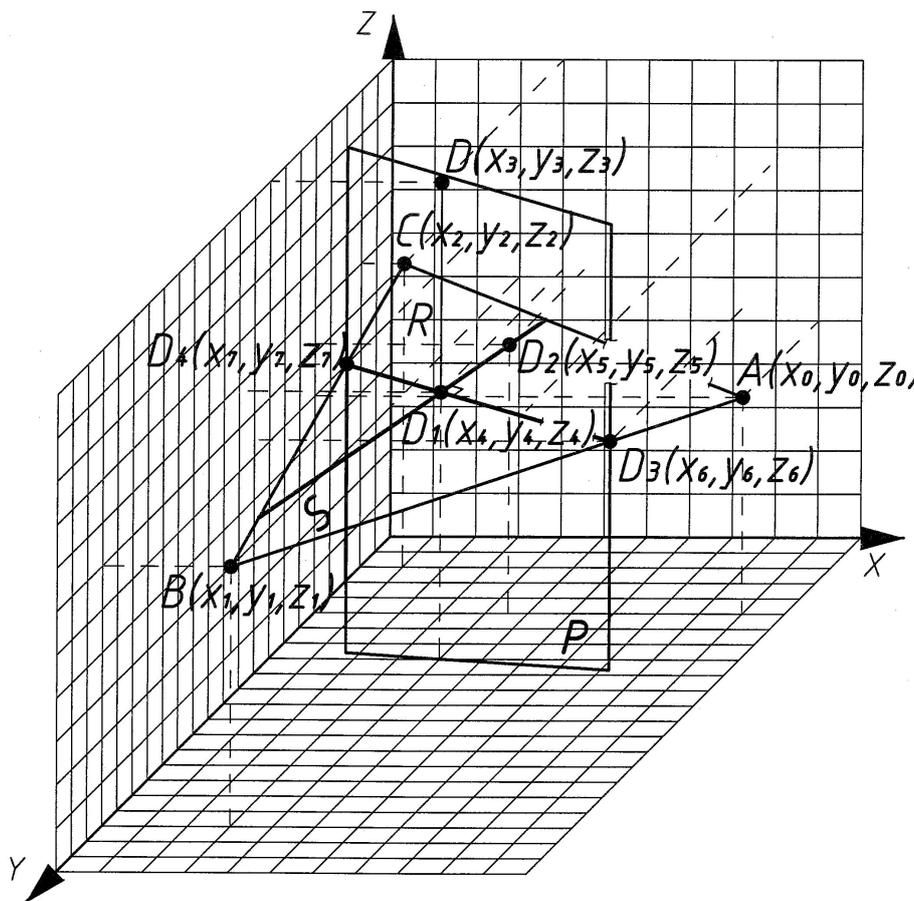


Рис. 1. Схема к определению геометрических параметров

После преобразования получим следующую запись уравнения плоскости ABC (плоскости S):

$$L \cdot x + Q \cdot y + U \cdot z - W = 0 \quad (2)$$

где L = (H · N — M · K), Q = (M · F — E · N), U = (E · K — H · F), W = (H · N — M · K) · x<sub>0</sub> + (M · F — E · N) · y<sub>0</sub> + (E · K — H · F) · z<sub>0</sub>.

Для определения принадлежности (или не принадлежности) точки D (x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>, z<sub>3</sub>) плоскости ABC необходимо подставить координаты точки D в найденное уравнение (2) и проверить равняется ли оно нулю или нет.

Для определения координаты z<sub>4</sub>, при которой точка D<sub>1</sub> с координатами (x<sub>4</sub>, y<sub>4</sub>) в плане равными координатам (x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>) точки D (x<sub>4</sub>=x<sub>3</sub>, y<sub>4</sub>=y<sub>3</sub>), будет принадлежать плоскости ABC подставить координаты (x<sub>4</sub>, y<sub>4</sub>) точки D<sub>1</sub> в уравнение (3), полученное в результате преобразования уравнения (2):

$$z_4 = (W - L \cdot x_4 - Q \cdot y_4) / U \quad (3)$$

Расстояние по вертикали от точки D до плоскости ABC определится по формуле (4):

$$R = z_3 - z_4 \quad (4)$$

Представляет интерес определение уравнений горизонтальной линии и линии наибольшего наклона плоскости к горизонту, проходящие через любую точку плоскости ABC, например, точку D<sub>1</sub>.

Так как  $D_1$  принадлежит плоскости ABC, то для нахождения уравнения горизонтальной линии необходимо найти координаты 2-й точки  $D_2(x_5, y_5, z_5)$ , которая принадлежала бы горизонтальной линии и одновременно плоскости ABC. Линия  $D_1D_2$  — горизонтальная, поэтому  $z_5 = z_4$ . Определив  $x_{\max} = \max\{x_0, x_1, x_2\}$  и  $x_{\min} = \min\{x_0, x_1, x_2\}$ , задавая любое значение  $x_5$  из  $X = \{x_{\max}, x_{\min}\}$ , например  $x_5 = (x_{\max} + x_{\min})/2$ , найдем  $y_5$  из уравнения плоскости (2):

$$y_5 = (W - Lx_5 - Uz_5)/Q \tag{5}$$

Тогда уравнение прямой в пространстве, проходящей через точки  $D_1(x_4, y_4, z_4)$  и  $D_2(x_5, y_5, z_5)$ :

$$\frac{(x - x_4)}{(x_5 - x_4)} = \frac{(y - y_4)}{(y_5 - y_4)} = \frac{(z - z_4)}{(z_5 - z_4)} \tag{6}$$

Для нахождения уравнения линии наибольшего наклона плоскости, проходящей через точку  $D_1$  плоскости ABC, необходимо сначала найти уравнение плоскости P, перпендикулярной  $D_1D_2$ . Т.к. нормальный вектор  $n$  плоскости P совпадает с направляющим вектором  $a = \{A_1, B_1, C_1\}$  прямой  $D_1D_2$ , где  $A_1 = (x_5 - x_4)$ ,  $B_1 = (y_5 - y_4)$ ,  $C_1 = (z_5 - z_4)$ , и плоскость P проходит через точку  $D_1(x_4, y_4, z_4)$ , то уравнение плоскости P, заданное через координаты т.  $D_1$  и нормальный вектор  $n$  будет:

$$A_1(x - x_4) + B_1(y - y_4) + C_1(z - z_4) = 0 \tag{7}$$

После преобразования уравнения (7) получим:

$$A_1x + B_1y + C_1z - W_1 = 0 \tag{8}$$

где  $W_1 = (A_1x_4 + B_1y_4 + C_1z_4)$ .

Уравнение прямой наибольшего наклона плоскости S к горизонту может быть получено как пересечение плоскостей S и P:

$$\begin{cases} Lx + Qy + Uz - W = 0 \\ A_1x + B_1y + C_1z - W_1 = 0 \end{cases} \tag{9}$$

После решения системы уравнений (9) получим уравнение прямой  $D_1D_3$ :

$$(L + A_1)x + (Q + B_1)y + (U + C_1)z - (W + W_1) = 0 \tag{10}$$

С целью определения точек пересечения линии наибольшего наклона плоскости S к горизонту, проходящую через т.  $D_1$ , с периметром площади ABC, определим точки пересечения плоскости P с прямыми AB, BC, AC. Для этого переведем канонические уравнения данных прямых в параметрические.

Каноническое уравнение прямой AB:

$$\frac{(x - x_0)}{(x_1 - x_0)} = \frac{(y - y_0)}{(y_1 - y_0)} = \frac{(z - z_0)}{(z_1 - z_0)} = t_1 \tag{11}$$

Параметрическое уравнение прямой AB:

$$x = x_0 + l_1 t_1, y = y_0 + m_1 t_1, z = z_0 + n_1 t_1 \tag{12}$$

где  $l_1 = x_1 - x_0$ ,  $m_1 = y_1 - y_0$ ,  $n_1 = z_1 - z_0$ .

Подставив уравнения (12) в уравнение (8) получим параметр  $t_1$ :

$$t_1 = - \frac{(A_1 x_0 + B_1 y_0 + C_1 z_0 - W_1)}{(A_1 l_1 + B_1 m_1 + C_1 n_1)} \tag{13}$$

Подставляя параметр  $t_1$  в уравнения (12) получим точку  $D_3(x_6, y_6, z_6)$  пересечения прямой AB с плоскостью P.

Аналогично находим параметрические уравнения прямых BC и AC соответственно (14) и (15):

$$x = x_1 + l_2 t_2, y = y_1 + m_2 t_2, z = z_1 + n_2 t_2 \tag{14}$$

$$x = x_0 + l_3 t_3, y = y_0 + m_3 t_3, z = z_0 + n_3 t_3 \tag{15}$$

где  $l_2 = x_2 - x_1$ ,  $m_2 = y_2 - y_1$ ,  $n_2 = z_2 - z_1$  и  $l_3 = x_2 - x_0$ ,  $m_3 = y_2 - y_0$ ,  $n_3 = z_2 - z_0$ .

Подставляя уравнения (14) в уравнение (8) получим соответственно параметры  $t_2$  и  $t_3$ , аналогичные уравнению (13):

$$t_2 = - \frac{(A_1 x_1 + B_1 y_1 + C_1 z_1 - W_1)}{(A_1 l_2 + B_1 m_2 + C_1 n_2)} \tag{16}$$

$$t_3 = - \frac{(A_1 x_0 + B_1 y_0 + C_1 z_0 - W_1)}{(A_1 l_3 + B_1 m_3 + C_1 n_3)} \tag{17}$$

Подставляя параметры  $t_2$  и  $t_3$  в уравнения (14) и (15) соответственно получим точки  $D_4(x_7, y_7, z_7)$  и  $D_5(x_8, y_8, z_8)$  пересечения прямых BC и AC с плоскостью P.

Определив  $z_{\max} = \max\{z_0, z_1, z_2\}$  и  $z_{\min} = \min\{z_0, z_1, z_2\}$ , найдем точку пересечения линии наибольшего наклона плоскости S к горизонту, проходящую через т.  $D_1$ , с границами площади ABC, как значение координаты  $z$  точки, одновременно удовлетворяющее 2-м условиям:  $z_{\min1} = \min\{z_6, z_7, z_8\}$  и  $z_{\min1} = \max\{z_{\max}, z_{\min}\}$ .

Для решения данной задачи была создана программа в программном продукте Microsoft Excel [4], которая может быть разделена на 2 части: пояснительную и расчетную и приведена ниже.

Пояснительная часть (все части текста в пояснительной и расчетной частях вводятся в программу без кавычек).

Для задания координат точек А, В, С в ячейку В2 необходимо в текстовом формате написать: «Координаты точки А», в ячейку В4 — «Координаты точки В», в ячейку В6 — «Координаты точки С», в ячейку В3 — « $x_0=$ », в ячейку В5 — « $x_1=$ », в ячейку В7 — « $x_2=$ », в ячейку D3 — « $y_0=$ », в ячейку D5 — « $y_1=$ », в ячейку D7 — « $y_2=$ », в ячейку F3 — « $z_0=$ », в ячейку F5 — « $z_1=$ », в ячейку F7 — « $z_2=$ ».

Для осуществления наглядности предварительных расчетов необходимо в ячейку С9 в текстовом формате вписать: «E=», в ячейку С10 — «F=», в ячейку С11 — «H=», в ячейку С12 — «K=», в ячейку С13 — «M=», в ячейку С14 — «N=», в ячейку С15 — «HN=», в ячейку С16 — «EK=», в ячейку С17 — «MF=», в ячейку С18 — «HF=», в ячейку С19 — «EN=», в ячейку С20 — «МК=», в ячейку С21 — «L=», в ячейку С22 — «Q=», в ячейку С23 — «U=», в ячейку С24 — «W=».

Для наглядности представления уравнения S плоскости ABC необходимо в ячейку В25 в текстовом формате вписать: «Уравнение плоскости ABC (плоскости S)», в ячейку В26 — «S=», в ячейку D26 — «\* x +», в ячейку F26 — «\* y +», в ячейку H26 — «\* z +», в ячейку J26 — «= 0».

С целью подтверждения правильности найденного уравнения S плоскости ABC необходимо в ячейку В30 в текстовом формате вписать: «S (A) =», в ячейку В32 — «S (B) =», в ячейку В34 — «S (C) =».

Для определения принадлежности (или не принадлежности) точки D ( $x_3, y_3, z_3$ ) плоскости ABC вводим координаты точки D, для чего необходимо в ячейку В37 в текстовом формате вписать: «Координаты точки D ( $x^3 = \{x_{\max}, x_{\min}\}, y^3 = \{y_{\max}, y_{\min}\}$ ) — зададим произвольно», в ячейку В38 — « $x_{\max} = \max \{x_0, x_1, x^2\} =$ », в ячейку В39 — « $x_{\min} = \min \{x_0, x_1, x^2\} =$ », в ячейку D38 — « $y_{\max} = \max \{y_0, y_1, y^2\} =$ », в ячейку D39 — « $y_{\min} = \min \{y_0, y_1, y^2\} =$ », в ячейку В41 в текстовом формате вписать: « $x_3 =$ », в ячейку D41 — « $y_3 =$ », в ячейку F41 — « $z_3 =$ », в ячейку В42 — «S (D) =».

Для определения координаты  $z_4$ , при которой точка  $D_1$  с координатами ( $x_4, y_4$ ) в плане равными координатам ( $x_3, y_3$ ) точки D, будет принадлежать плоскости ABC необходимо в пояснительной части программы в ячейку В45 в текстовом формате вписать: « $x_4 = x_3 =$ », в ячейку D45 — « $y_4 = y_3 =$ », в ячейку В47 — « $z_4 =$ ».

Для проверки правильности определения координаты  $z_4$  необходимо в текстовом формате вписать в ячейку В49 — «S ( $D_1$ ) =».

С целью определения расстояния по вертикали от точки D до плоскости ABC необходимо в текстовом формате вписать в ячейку В51 — «R= $z_3 - z_4 =$ ».

Для определения уравнения горизонтальной прямой  $D_1D_2$ , принадлежащей плоскости S, необходимо в пояснительной части программы в ячейку В52 в текстовом формате вписать: «Определение уравнения горизонтальной прямой  $D_1D_2$ , принадлежащей плоскости S», в ячейку В53 — «Определение координат точки  $D_2$ », в ячейку В54 — « $x_5 = (x_{\max} - x_{\min})/2 =$ », в ячейку D54 — « $y_5 = (W - L * x_5 - U * z_5)/Q =$ », в ячейку F54 — « $z_5 = z_4 =$ », в ячейку В55 — «S ( $D_2$ ) =».

С целью определения направляющего вектора прямой  $D_1D_2$  в ячейку В57 в текстовом формате вписать: « $l = x_5 - x_4 =$ », в ячейку В58 — « $m = y_5 - y_4 =$ », в ячейку В59 — « $n = z_5 - z_4 =$ ». Так как нормальный вектор n плоскости P, перпендикулярной прямой  $D_1D_2$  и проходящей через точку  $D_1$  ( $x_4, y_4, z_4$ ), совпадает с направляющим вектором прямой  $D_1D_2$ , необходимо в пояснительной части программы в ячейку В61 в текстовом формате вписать: « $A_1 = l =$ », в ячейку В62 — « $B_1 = m =$ », в ячейку В63 — « $C_1 = n =$ », в ячейку В64 — « $W_1 = (A_1 * x_4 + B_1 * y_4 + C_1 * z_4) =$ ». Далее в ячейку В65 вписываем: «Уравнение плоскости P:», в ячейку С66 — «\* x +», в ячейку E66 — «\* y +», в ячейку G66 — «\* z +», в ячейку I66 — «= 0».

С целью определения точек пересечения линии наибольшего наклона плоскости S к горизонту, проходящую через т.  $D_1$ , с периметром площади ABC, определим точки пересечения плоскости P с прямыми AB, BC, AC, для чего необходимо в ячейку В67 в текстовом формате вписать: «Определение точки пересечения плоскости P с прямой AB», в ячейку В68 — « $l_1 = x_1 - x_0 =$ », в ячейку В69 — « $m_1 = y_1 - y_0 =$ », в ячейку В70 — « $n_1 = z_1 - z_0 =$ », в ячейку В71 — « $t_1 =$ », в ячейку В73 — « $x_6 = x_0 + l_1 * t_1 =$ », в ячейку D73 — « $y_6 = y_0 + m_1 * t_1 =$ », в ячейку F73 — « $z_6 = z_0 + n_1 * t_1 =$ ». Далее в ячейку В74 в текстовом формате вписываем: «Определение точки пересечения плоскости P с прямой BC», в ячейку В75 — « $l_2 = x_2 - x_1 =$ », в ячейку В76 — « $m_2 = y_2 - y_1 =$ », в ячейку В77 — « $n_2 = z_2 - z_1 =$ », в ячейку В78 — « $t_2 =$ », в ячейку В80 — « $x_7 = x_1 + l_2 * t_2 =$ », в ячейку D80 — « $y_7 = y_1 + m_2 * t_2 =$ », в ячейку F80 — « $z_7 = z_1 + n_2 * t_2 =$ » и затем в ячейку В81 в текстовом формате вписываем: «Определение точки пересечения плоскости P с прямой AC», в ячейку В82 — « $l_3 = x_2 - x_0 =$ », в ячейку В83 — « $m_3 = y_2 - y_0 =$ », в ячейку В84 — « $n_3 = z_2 - z_0 =$ », в ячейку В85 — « $t_3 =$ », в ячейку В87 — « $x_8 = x_0 + l_3 * t_3 =$ », в ячейку D87 — « $y_8 = y_0 + m_3 * t_3 =$ », в ячейку F87 — « $z_8 = z_0 + n_3 * t_3 =$ ».

В расчетной части программы в ячейки С3, Е3, G3 в численном формате вводим соответственно координаты точки А:  $x_0, y_0, z_0$ , в ячейки С5, Е5, G5 вводим соответственно координаты точки В:  $x_1, y_1, z_1$ , в ячейки С7, Е7, G7 вводим соответственно координаты точки С:  $x_2, y_2, z_2$  (точки А, В, С не должны лежать на одной прямой и в одной горизонтальной плоскости).

В части предварительных расчетов программы в ячейку Е9 вводим «= (С5-С3)» (здесь и далее без кавычек), в ячейку Е10 вводим «= (С7-С3)», в ячейку Е11 — «= (Е5-Е3)», в ячейку Е12 — «= (Е16-Е8)», в ячейку Е13 — «= (G5-G3)», в ячейку Е14 — «= (G7-G3)», в ячейку Е15 — «= (Е11\*Е14)», в ячейку Е16 — «= (Е9\*Е12)», в ячейку Е17 — «= (Е13\*Е10)», в ячейку Е18 — «= (Е11\*Е10)», в ячейку Е19 — «= (Е9\*Е14)», в ячейку Е20 — «= (Е13\*Е12)», в

ячейку E21 — «=(E15-E20)», в ячейку E22 — «=(E17-E19)», в ячейку E23 — «=(E16-E18)», в ячейку E24 — «=E21\*C3+E22\*E3+E23\*G3».

Для наглядности представления уравнения S плоскости ABC необходимо в ячейку C26 ввести вписать: «=E21», в ячейку E26 — «=E22», в ячейку G26 — «=E23», в ячейку I26 — «=E24».

Для проверки правильности найденного уравнения S плоскости ABC необходимо в ячейку C30 ввести: «=C26\*C3+E26\*E3+G26\*G3-I26», в ячейку C32 — «=C26\*C5 +E26\* E5+G26\*G5-I26», в ячейку C34 — «=C26\*C7 +E26\* E7+G26\*G7-I26». При этом в ячейках C30, C32, C34 в должен получиться нулевой результат, в противном случае формулы в программе введены неправильно и их необходимо перепроверить.

Для определения максимальных и минимальных значений координат x, y плоскости ABC необходимо в ячейку C38 ввести функцию (через выпадающее меню «Формулы» и вкладку «Вставить функцию»): «=МАКС (C3; C5; C7)», в ячейку C39 — «=МИН (C3; C5; C7)», в ячейку E38 — «=МАКС (E3; E5; E7)», в ячейку E39 — «=МИН (E3; E5; E7)». Далее для задания произвольных координат  $x_3, y_3$  точки D вводим в ячейку C41 любое число из диапазона ( $x_{\max}$ - $x_{\min}$ ), а в ячейку E41 любое число из диапазона ( $y_{\max}$ - $y_{\min}$ ), в ячейку G41 вводим вообще любое число для задания координаты  $z_3$ .

Для определения принадлежности (или не принадлежности) точки D ( $x_3, y_3, z_3$ ) плоскости ABC вводим координаты точки D в уравнение плоскости S, для чего в ячейку C42 вводим формулу: «=C26\*C41+E26\*E41+G26\*G41-I26». Так как координата  $z_3$  принята произвольно, то, скорее всего, точка D не будет принадлежать плоскости ABC и в ячейке C42 будет ненулевой результат. Если получится нулевой результат, то изменить число в ячейке G41. В случае повторения нулевого результата необходимо перепроверить формулы в программе, т. к. они введены неправильно.

Для определения координаты  $z_4$ , при которой точка  $D_1$  с координатами ( $x_4 = x_3, y_4 = y_3$ ) в плане будет принадлежать плоскости S необходимо в расчетной части программы в ячейку C45 ввести формулу: «=C41», в ячейку E45 — «=E41», в ячейку E47 — «=(E24-E21\*C45-E22\*E45)/E23».

Для определения проверки принадлежности (или не принадлежности) точки  $D_1$  ( $x_4, y_4, z_4$ ) плоскости ABC вводим координаты точки  $D_1$  в уравнение плоскости S, для чего в ячейку C49 вводим формулу: «=C26\*C45+E26\*E45+G26\*E47-I26», при этом должен получиться нулевой результат (в противном случае перепроверить формулы в программе).

С целью определения расстояния по вертикали от точки D до плоскости ABC необходимо ввести в ячейку C51 — «=G41-E47».

Для определения уравнения горизонтальной прямой  $D_1D_2$ , принадлежащей плоскости S, необходимо в расчетной части программы в ячейку C54 ввести формулу: «=(C38-C39)/2», в ячейку E54 — «=(E24-E21\*C54-E23\*G54)/E22», в ячейку G54 — «=E47».

Для определения проверки принадлежности (или не принадлежности) точки  $D_2$  ( $x_5, y_5, z_5$ ) плоскости ABC вводим координаты точки  $D_2$  в уравнение плоскости S, для чего в ячейку C55 вводим формулу: «=C26\*C54+E26\*E54+G26\*G54-I26», при этом должен получиться нулевой результат (в противном случае перепроверить формулы в программе).

С целью определения направляющего вектора прямой  $D_1D_2$  в ячейку C57 ввести формулу: «=C54-C45», в ячейку C58 — «=E54-E45», в ячейку C59 — «=G54-E47».

С целью определения нормального вектора n плоскости P в ячейку C61 ввести формулу: «=C57», в ячейку C62 — «=C58», в ячейку C63 — «=C59», в ячейку C64 — «=(C61\*C45+C62\*E45+C63\*E47)».

Для наглядности представления уравнения плоскости P в ячейку B66 вводим формулу: «=C61», в ячейку D66 — «=C62», в ячейку F66 — «=C63», в ячейку H66 — «=C64».

Для определения точки пересечения плоскости P с прямой AB необходимо в ячейку C68 ввести формулу: «=C5-C3», в ячейку C69 — «=E5-E3», в ячейку C70 — «=G5-G3», в ячейку C71 — «=- (C61\*C3+C62\*E3+C63\*G3-C64)/(C61\*C68+C62\*C69+C63\*C70)», в ячейку C73 — «=C3+C68\*C71», в ячейку E73 — «=E3+C69\*C71», в ячейку G73 — «=G3+C70\*C71». Для определения точки пересечения плоскости P с прямой BC необходимо в ячейку C75 ввести формулу: «=C7-C5», в ячейку C76 — «=E7-E5», в ячейку C77 — «=G7-G5», в ячейку C78 — «=- (C61\*C5+C62\*E5+C63\*G5-C64)/(C61\*C75+C62\*C76+C63\*C77)», в ячейку C80 — «=C5+C75\*C78», в ячейку E80 — «=E5+C76\*C78», в ячейку G80 — «=G5+C77\*C78». Для определения точки пересечения плоскости P с прямой AC необходимо в ячейку C82 ввести формулу: «=C7-C3», в ячейку C83 — «=E7-E3», в ячейку C84 — «=G7-G3», в ячейку C85 — «=- (C61\*C3+C62\*E3+C63\*G3-C64)/(C61\*C82+C62\*C83+C63\*C84)», в ячейку C87 — «=C3+C82\*C85», в ячейку E87 — «=E3+C83\*C85», в ячейку G87 — «=G3+C84\*C85».

В результате реализации программы, задавая координаты  $x_3, y_3$  в плане любой точки D внутри любой площади ABC (это могут быть координаты опор различного оборудования, арматуры, фитингов и др.) возможно найти вертикальную координату проекции точки D (точки  $D_1$ ) на плоскость ABC, определить расстояние R от точки D до плоскости (это может быть высота строительной конструкции и т. п.), определить горизонтальную линию и линию максимального наклона плоскости к горизонту, принадлежащие плоскости ABC и проходящие через точку  $D_1$ , а также координаты точек пересечения последней линии с границами плоскости — прямыми AB, BC, AC. Изменяя координаты  $z_0, z_1, z_2$  точек A, B, C соответственно, имеется возможность подбора необходимых при проектировании нормативных значений направ-

ления и уклона линии максимального наклона плоскости к горизонту (например к сбросному клапану проектируемой площадки и т. п.). Кроме того, определение в программе уравнений плоскостей S и P, а также всех линий, дает возможность определить и любые другие геометрические параметры проектируемой площади и манипуляции с ней.

Литература:

1. СНиП 11–02–96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. (Утвержден приказом Госстроя РФ от 10.12.2012 г. № 83/ГС).
2. СП 11–104–97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства» (одобрен Письмом Госстроя РФ от 14.10.1997 № 9–4/116).
3. Шипачев, В. С. Высшая математика: Учеб. для немат. спец. вузов / Под ред. акад. А. Н. Тихонова. — 2-е изд., стер. М.: Высш. шк., 1990. — 479 с., ил.
4. Инструкция по использованию программного обеспечения Microsoft Excel программного продукта «Microsoft Office профессиональный плюс 2010» корпорации Майкрософт (Microsoft Corporation).

## Использование контрольно-диагностических стендов для тестирования микросхем

Магеррамов Рафаэл Вагифович, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Заключительный этап в производстве электронного продукта является его серийное производство. С помощью этого в конечном итоге определяется качество произведенных устройств. Потребитель не сможет в полной мере оценить созданную программную или аппаратную платформу изготавливаемой электроники, в случае если во время производства изделия произошел сбой. Из этого следует, что контроль и тестирование электронных продуктов являются важными и обязательными этапами массового производства электронных изделий.

### Маршрут тестирования микросхем.

Технологический процесс тестирования пластин или уже готовых микросхем включает нижеследующие операции (Рисунок 1).

1. Получение тестового образца (пластины или микросхемы)
2. Определение тестируемых параметров полученного образца
3. Подготовка контрольно-измерительного стенда в зависимости от полученной микросхемы и тестируемых параметров
4. Создание тестового программного обеспечения (для алгоритмизации тестирования с помощью контрольно-измерительных стендов)
5. Запуск тестирования полученного образца тестируемой программой на измерительном стенде
6. Обработка полученных результатов после процесса тестирования полученного образца.

### Контрольно-диагностический стенд.

В НПК «Технологический центр» МИЭТ разработан контрольно-диагностический стенд (КДС) на основе программно-аппаратного комплекса компании National

Instruments. КДС включает в себя следующие модули (Рисунок 2).

- 1) Компьютерный модуль (контроллер);
- 2) Программируемый источник питания;
- 3) Цифровой мультиметр;
- 4) Генератор сигналов произвольной формы;
- 5) Осциллограф;
- 6) Матрица коммутаций;
- 7,8,9) Логический генератор/анализатор;
- 10) Кабель для высокоскоростных цифровых устройств;
- 11) Контактное устройство микросхемы;
- 12) Измеряемая микросхема.

Модульное шасси (Рисунок 3) позволяет изменять конфигурацию измерительного стенда. Пользователь может самостоятельно убирать либо добавлять необходимые для измерения модули.

Модули объединены программной оболочкой LabVIEW, которая позволяет не только исследовать полный спектр аналоговых и цифровых характеристик микросхем, но и автоматизировать все измерения, что дает возможность паспортизировать микросхемы в краткие сроки. [1–3]

На данный момент с помощью КДС аттестован ряд микросхем, которые находят применение как в аппаратуре космического, так и специального назначения.

Кроме контрольно-диагностического стенда для тестирования интегральных схем НПК «Технологический центр» использует зондовую установку «ЭМ-6190» и измерительную установку HP 82000.

### Описание измерительной системы HP-8200 D50.

#### Назначение и область применения.

Анализатор логический HP 82000 модель D100X (Рисунок 4) предназначен для измерений статических и ди-

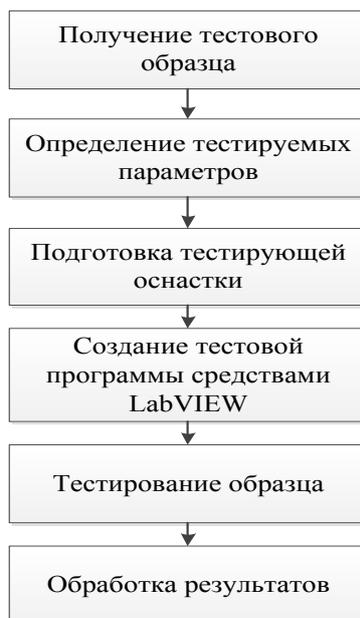


Рис. 1. Блок схема маршрута тестирования микросхем

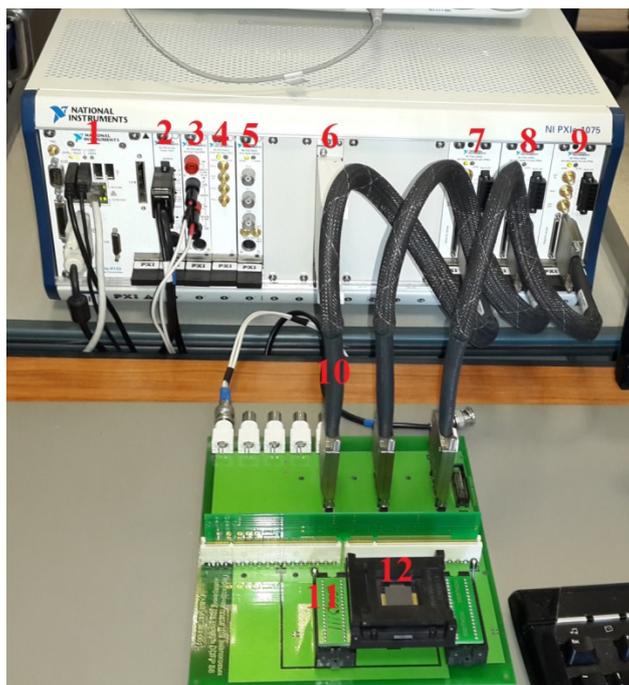


Рис. 2. Контрольно-диагностический стенд

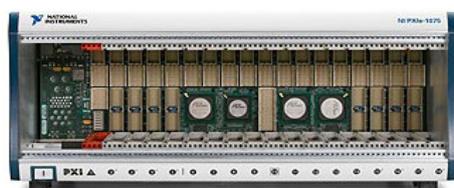


Рис. 3. Модульное шасси

намических параметров цифровых микросхем и полупроводниковых кристаллов с числом двунаправленных сигнальных выводов до 200, числом источников питания положительной полярности для тестируемых микросхем — до четырех и частотой функционального контроля — от 10 кГц до 100 МГц.

Анализатор применяется для выходного контроля параметров и правильности функционирования больших интегральных схем (БИС) при их разработке и производстве, а также для входного контроля качества БИС, используемых в радиотехнической аппаратуре, вычислительной технике, на объектах промышленности.



Рис. 4. Измерительная система HP-82000 D50

#### Описание.

Анализатор представляет собой измерительный блок и персональный компьютер с архитектурой IBM PC. Конфигурация и конструкция компьютера определяются в договоре на поставку анализатора.

Измерительный блок анализатора конструктивно выполнен в отдельном корпусе, в котором расположены: специализированные блоки питания; плата, на которой расположены программируемые источники питания и измеритель; плата, содержащая генератор тестовых векторов, канал тактовых импульсов, синусоидальный генератор и быстрый АЦП; плата с источником опорного напряжения.

Принцип действия анализатора основан на сравнении с помощью быстродействующих АЦП выходных сигналов БИС с известным эталонным откликом на задаваемую тестовую последовательность функционального контроля (ФК), формируемую анализатором.

#### Установка зондовая ЭМ-6190А.

Установка зондовая ЭМ-6190А (Рисунок 5) предназначена для обеспечения контактирования измерительных зондов с контактными площадками интегральных микросхем. Установка осуществляет:

- автоматическую ориентацию пластин,
- автоматическое контактирование по заданной программе,
- маркирование кристаллов краской, в том числе свободных от кристаллов зон по периметру пластины,

— вывод результатов контроля (количество кристаллов, количество годных кристаллов) на экран монитора,

— вывод карты годных кристаллов.

Измерительный зонд также может быть оснащен загрузочным устройством и системой технического зрения, что значительно может ускорить процесс тестирования и минимизировать время работы человека с оборудованием [4–9].



Рис. 5. Установка зондовая ЭМ-6190

Схема подключения измерительного стенда к зондовой установке «ЭМ-6190».

Для осуществления связи между контрольно-диа-

гностическим стендом и зондовой установкой необходимо произвести их взаимное подключение по интерфейсу GPIB (Рисунок 6).



Рис. 6. Структурная схема подключения КДС и ЗУ

### Интерфейс GPIB.

Канал общего пользования (КОП, General Purpose Interface Bus — GPIB) был разработан компанией Hewlett Packard в конце 1960 года для обеспечения связи между компьютерами и измерительными приборами. Под каналом понимают способ соединения, с помощью которого компьютеры и приборы обмениваются данными и командами. Канал общего пользования обеспечил необходимые спецификации и протокол для управления процессом передачи. Первоначальной целью создания КОП было обе-

спечение компьютерного управления устройствами тестирования и измерения. Однако использование КОП довольно быстро расширилось до таких областей, как осуществление связи между компьютерами и управление универсальными измерительными приборами, сканерами и осциллографами [10–15].

В результате удалось провести соединение зондовой установки «ЭМ-6190» с контрольно-диагностическим стендом с помощью цифровой параллельной шины для связи цифровых приборов — GPIB (Рисунок 8).

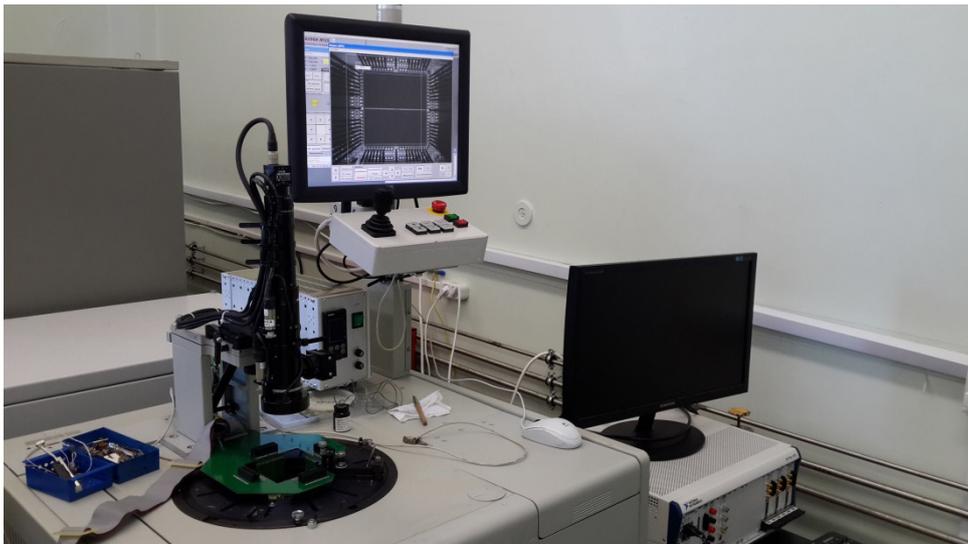


Рис. 8. Подключение ЗУ к КДС

### Заключение.

Аттестация и тестирование интегральных микросхем является важной и неотъемлемой частью в их производстве. Научно-производственные комплексы ставят перед собой различные задачи, среди которых модернизация тестирующего оборудования, усовершенствования тестового программного обеспечения и автоматизация всего измерительного процесса.

Автоматизация позволяет сократить время тестирования ИС, что позволяет за сжатые сроки аттестовать большее количество микросхем, и исключить человеческий фактор.

На основе выше описанных измерительных систем, предприятие, изготавливающие интегральные микросхемы может осуществить современное функционально-полное тестирование параметров разрабатываемых микросхем.

### Литература:

1. Бобков, С. Г., Евлампиев Б. Е. Схема тестирования высокочастотных блоков одно-кристального графического контроллера. Научная сессия МИФИ 2003 // Сборник научных трудов. В 14 томах. Том 1. Автоматика. Электроника. Электронные измерительные системы. 2003. с. 173–174.

2. Аряшев, С. И., Бобков С. Г. Разработка микросхемы графического ускорителя с использованием ПЛИС FPGA Altera. 3-я научно-техническая конференция // Электроника, микро- и нанoeлектроника. Сборник научных трудов / Под ред. В. Я. Стенина. 2001. с. 28–33.
3. Бобков, С. Г., Евлампиев Б. Е. Разработка методик проектирования быстродействующих СБИС со сложной структурой класса микросхем графического контроллера // Информационные технологии и вычислительные системы. 2005. с. 88–104.
4. Бобков, С. Г. Евлампиев Б. Е., Сидоров А. Ю. Блок самотестирования внутренней памяти. 1-я Всероссийская научно-техническая конференция // Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем. Сборник научных трудов под общ. ред. А. Л. Стемпковского. — М.: ИППМ РАН. 2005. с. 222–228.
5. Буренков, В. С., Тимин Л. С. Применение скан-технологии для обеспечения контролепригодности СБИС // Схемотехника и нанoeлектроника. 2007. с. 50.
6. Малышева, И. А. Технология производства интегральных микросхем // Микроэлектроника. — 2001. с. 47–85.
7. Курносов, А. И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем // Микроэлектроника. — 2003 с. 95–140.
8. Модульные измерительные системы для автоматизированных испытаний // журнал контрольно-измерительные приборы и системы № 4, 2010. — С. 25.
9. Herer, Y., Raz T. IIE Transactions on Quality and Reliability // Springer Science Media. — 2003. P. 529–540.
10. Данилина, Т. И., Кагадей В. А. Технология СБИС // учебное пособие. — 2007. С. 56–87.
11. ГОСТ 22261–94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.
12. Mike Tooley PC Based Instrumentation and Control // Nanoscale. 2013. p. 375–456.
13. Halit Eren Electronic portable Instruments // Design and Application. — 2012. — P. 223–300.
14. Owen Bishop Circuits and Systems. // Electronics. — 2007. — P. 186–233.
15. Eugene Ralph Fisher, C. William Jensen PET and the IEEE 488 Bus // CRC Press. — 2008. — P. 144–169.

## Характеризация статических ячеек памяти

Магеррамов Рафаэл Вагифович, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

**П**амять — устройство хранения данных (информации), запоминающее устройство. Физическое устройство, используемое в вычислениях и хранении определённых данных в течение заданного времени. Память является неизменной и незаменимой частью компьютерных устройств, начиная с 1940-х годов.

Ячейка памяти — это минимально-возможный адресуемый элемент памяти (запоминающего устройства). Данная ячейка может иметь различную ёмкость, длину и число разрядов. Также ячейки памяти присваивается адрес (порядковый номер) с помощью которого происходит обращение команды процессора к памяти.

Можно выделить два основных вида ячеек памяти построенных на полупроводниковых технологиях: (SRAM) — статическая память, не требующая регулярного обновления, (DRAM) — динамическая память, которая нуждается в периодической перезаписи для сохранения информации. Из этого следует, что в основном из статических ячеек памяти организуют кеша, а при помощи динамической памяти — ОЗУ.

SRAM (static random access memory) — статическая память с произвольным доступом (Рисунок 1). Это полупроводниковая оперативная память, в которой каждый разряд (двоичный или троичный) хранится с положи-

тельной обратной связью в схеме, которая в отличии от динамической памяти (DRAM) позволяет поддерживать определенное состояние без регенерации. Однако сохранение данных без перезаписи в SRAM возможно только пока есть питание, из этого следует, что SRAM является энергозависимым типом памяти. С помощью произвольного доступа (RAM — random access memory) возможно осуществлять выбор для записи или чтения любой из битов, в отличие от конструкции памяти с последовательным доступом (SAM — sequential access memory).

DRAM (dynamic random access memory) — динамическая память с произвольным доступом (Рисунок 2). Это энергозависимая полупроводниковая память, которая имеет произвольный доступ. Данный тип памяти широко используется в качестве оперативной памяти в нынешних компьютерных устройствах, а также для постоянного хранения данных (информации).

Устройства памяти являются одним из основных компонентов современной электроники. Нынешняя тенденция современных КМОП технологий — это стремление к постоянному уменьшению размеров элементов, снижение энергопотребления интегральных схем. Из этого следует много положительных моментов, однако в связи с умень-

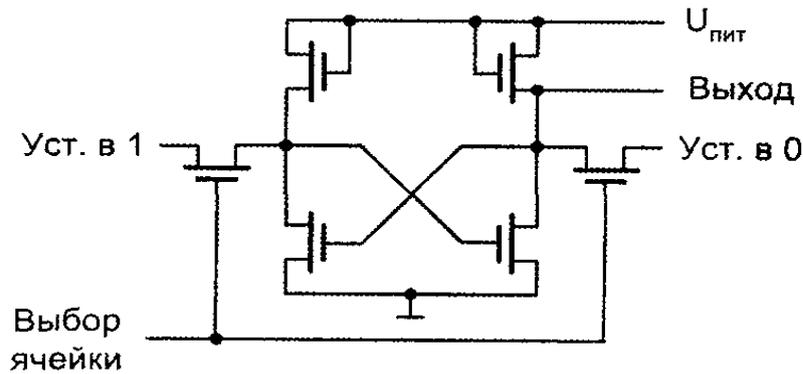


Рис. 1. Электрическая схема запоминающего элемента SRAM

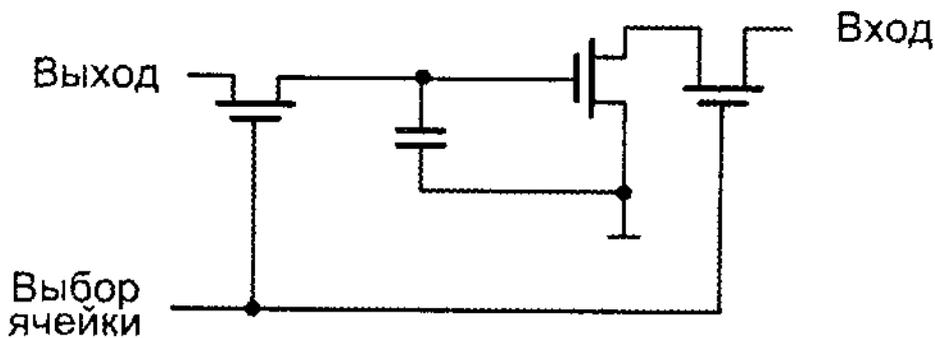


Рис. 2. Электрическая схема запоминающего элемента DRAM

шением размеров интегральных компонентов возникает ряд проблем, связанных с технологическим разбросом транзисторных характеристик и линий связи. Данная проблематика в особенности ярко выражается при проектировании устройств памяти.

На Рисунке 1 представлена классическая 6-ти транзисторная ячейка статической памяти. Так как используются одни и те же шины для входной и выходной информации, операцию записи и чтения невозможно выполнить в один момент времени.

Устойчивость работы статических ячеек памяти напрямую зависит от изменения параметров транзисторов и линий их связи, в зависимости от технологии их изготовления. Из-за разбросов технологических параметров следует изменение важных характеристик транзисторов, таких как порог, емкость и различные усилительные свойства.

Для характеристики ячеек памяти и оценки их помехоустойчивости водится такой параметр, как статический запас помехоустойчивости (Static Noise Margin — SNM). Что бы определить «SNM» необходимо выполнить наложение графиков передаточных характеристик двух инверторов статической ячейки памяти (Рисунок 3), которые образуют триггер. Сторона квадрата, полученная при наложении двух характеристик, является искомой величиной SNM (Рисунок 4).

При отсутствии достоверной информации о технологический разбросов параметров во время производства памяти практически невозможно реализовать необходимый запас помехоустойчивости 6-ти транзисторной статической ячейки памяти. Для решения данной проблемы используют 8-ми транзисторную ячейку памяти (Рисунок 5), которая позволяет разделить операции чтения и записи.

Линия WWL управляет затворами двух полевых транзисторов. Линия BL — битовые линии, необходимы для записи данных (в 6-ти транзисторной ячейки памяти данные линии осуществляют как функцию записи, так и функцию чтения). Во время процесса считывания в 8-ми транзисторной ячейке памяти подается сигнал на линию RWL, исходя из того какая информация хранилась в ячейки, мы имеем инверсный сигнал на выходной линии RBL. Запись в данной ячейки памяти реализована таким же образом, как и в 6-ти транзисторной ячейки памяти.

**Вывод.**

Одна из возможностей достижения быстродействия и стабильности ячеек памяти является разделения портов записи и чтения. Добавление двух транзисторов в 8-ми транзисторной ячейки памяти ведет к значительной прибавки к площади всей памяти, однако это значительно компенсируется улучшением временными параметрами, а также возможностью реализации многопортовой памяти.

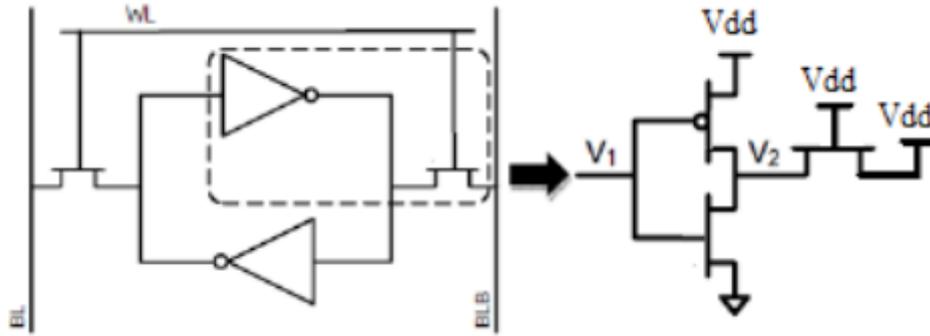


Рис. 3. Эквивалентная схема для определения значения SNM

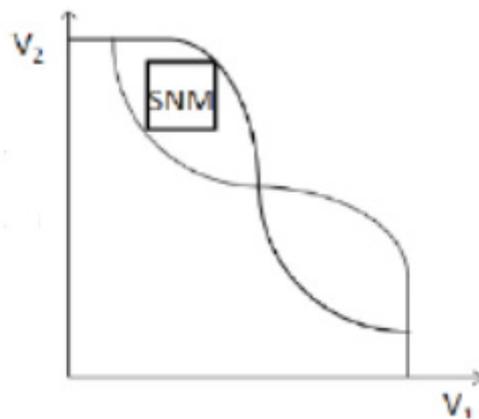


Рис. 4. График передаточных характеристик двух инверторов

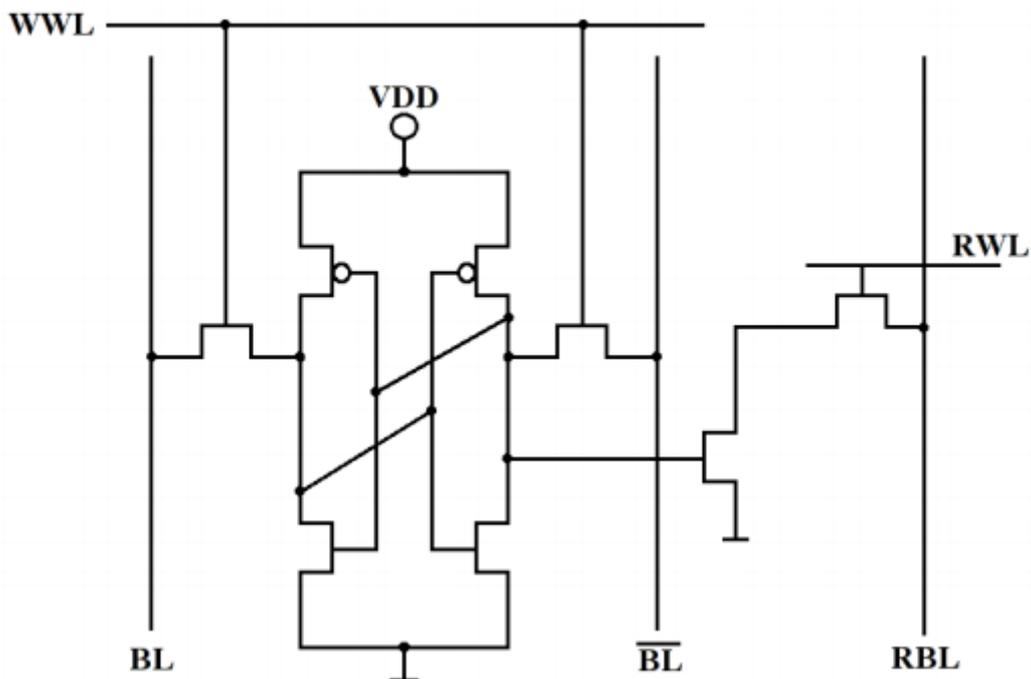


Рис. 5. Схема 8-ми транзисторной статической ячейки памяти:  
RWL — Read Word Line; WL — World Line; BL — Bit Line

Литература:

1. Амосов, В. В. Схемотехника и средства проектирования цифровых устройств. БХВ-Петербург, 2012.
2. Бойко, В. И., Гуржий А. Н. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства. БХВ-Петербург, 2012.
3. Угрюмов, Е. П. Цифровая схемотехника. Учебное пособие для вузов, 2 издание. БХВ-Петербург, 2011.
4. Jason Cong. An interconnect centric design flow for nanometer technologies, Proceedings of IEEE, vol. 89, 2009.
5. Vjay Gullapalli, Kaijani Shi — Hierarchical design techniques, Synopsys white paper, 2008.

## **Анализ главных параметров электросети при аварийных режимах в нефтяных предприятиях и использование средств автоматического включения резерва**

Миниахметов Альмир Анфирович, заместитель директора, учитель физики, информатики и ИКТ  
МБОУ СОШ № 1 с. Аскино Республики Башкортостан

Абдуллин Салават Айдарович, студент  
Уфимский государственный авиационный технический университет

*В статье рассмотрены основные параметры электрической сети для случая аварийных ситуаций на нефтеперерабатывающих предприятиях. Приведена схема короткого замыкания и срабатывания устройства автоматического ввода резерва, схема замещения для проведения расчета токов короткого замыкания. Предложены основные физико-технические зависимости для расчета токов короткого замыкания. Проанализированы технические характеристики устройств автоматического ввода резерва, устройств релейной защиты и автоматики. Показаны физические расчеты основных параметров электросети для устройства автоматического включения резерва на примере подстанции нефтеперерабатывающего завода Республики Башкортостан с одинарным токоограничивающим реактором. Рекомендован метод выбора устройства релейной защиты и автоматики на основе проведенных расчетов коэффициента чувствительности отсечки и удовлетворения техническим требованиям чувствительности. Приведенные расчеты позволяют создавать и внедрять новые инновационные устройства автоматического ввода резерва с достижением времени переключения из аварийного режима меньше секунды.*

**Ключевые слова:** энергетика, электроснабжение, релейная защита, автоматика, одностороннее питание, автоматическое включение резерва, короткое замыкание, нефтедобыча, коэффициент чувствительности отсечки

## **Analysis of the basic parameters of electrical network at operating emergency conditions in petroleum companies and the use of resources of automatic circuit-breaker**

Miniakhmetov Almir Anfirovich, headmaster's assistant, teacher of physics, computer science and information technologies  
Askino Secondary School № 1, Republic of Bashkortostan

Abdullin Salavat Aidarovich, student  
Ufa State Aviation Technical University

*The article considers the basic parameters of electrical network in case of operating emergency conditions at refining ventures. Provided a short circuit diagram, automatic circuit-breaker application response, and equivalent circuit for short circuit current analysis. Suggested basic physico-technical characteristic curves for short circuit current analysis. Analysed technical characteristics of automatic circuit-breaker application, relay protection and automatic equipment application. Shown physical calculations of the basic parameters of electric network for automatic circuit-breaker application in terms of electric power substation of a refining venture of the Republic of Bashkortostan with a unitary electric line reactor. Recommended an approach of choice of relay protection and automatic equipment application on the*

*basis of a shut-down sensitivity factor and the observation of technical requirements of sensitivity. The calculations are provided in order to create and introduce innovative automatic circuit-breaker applications with operating emergency conditions switch-over time less than a second.*

**Key words:** energetics, electric supply, relay protection, automatic equipment, single power supply, automatic circuit-breaker, short circuit, oil recovery, shut-down sensitivity factor

**1. Введение.** Надежность электроснабжения, в основном, зависит от отсутствия короткого замыкания в схемах внутреннего и внешнего конструкций приборов и оборудования. Из-за большого уровня износа электрооборудования, число коротких замыканий, обуславливающих провалы напряжения, возрастает с каждым годом. В такой ситуации решение проблемы надежности электроснабжения возлагается только на самих потребителей электроэнергии [1].

Последнее наиболее актуально для предприятий со сложными технологическими процессами и средствами автоматизации. Например, предприятия по добыче и переработке нефти, газа, предприятия водоснабжения, водоотвода и другие.

С другой стороны, для работы высоковольтных электродвигателей, низковольтных электродвигателей приводов насосов, устройств управления элементами технологических процессов этих предприятий, сильное влияние оказывают провалы питающего напряжения [2], которые могут длиться лишь несколько секунд. Такие провалы питающего напряжения происходят несколько десятков раз в год и приводят к большим ущербам, несмотря на то, что они длятся считанные секунды.

Конечно, чтобы обеспечить высокую степень надежности электроснабжения потребителей, используют схемы питания одновременно от двух и более источников (например, линий, трансформаторов), поскольку аварийное отключение одного из них уже не приведет к исчезновению напряжения на выводах электрических приемников.

Однако, несмотря на эти очевидные преимущества многостороннего питания потребителей, огромное число подстанций, имеющих два и более источника питания, работают по схеме одностороннего питания [3]. Подобным способом питаются также секции собственных нужд электростанций, так как эта схема является менее надежной, но более простой схемой электроснабжения.

В то же время, согласно [4], указанная схема позволяет снижать токи короткого замыкания, уменьшить потери электроэнергии в питающих трансформаторах, для более простой релейной защиты, создания необходимого режима по напряжению перетокам мощности.

При развитии электрической сети, одностороннее питание часто является единственно возможным, так как ранее установленное оборудование и релейная защита не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей. В основном, такой недостаток устраняют путем быстрого автоматического включения резервного источника, или включением выключателя, на котором осуществлено деление сети. Для выполнения этой операции широко используют специальное устройство автоматического включения резерва (далее АВР) [5], особенно в предприятиях как нефтеперерабатывающие заводы.

**2. Постановка цели.** В связи с этим, целью данной работы является выявление и анализ различных способов повышения надежности электроснабжения с использованием средств автоматического включения резерва на примере нефтеперерабатывающего предприятия Республики Башкортостан.

Актуальность статьи состоит в том, что проведен анализ работы устройства автоматического включения резерва с выявлением преимуществ и недостатков с целью обеспечения надежного и непрерывного электроснабжения потребителей.

Научная новизна исследования состоит в том, что выявлены причины провалов напряжения и перерыва питания, вызывающие потерю устойчивости электроснабжения, нарушения технологического процесса, а также расчетные приемы по их устранению.

**3. Краткая теория.** На нефтеперерабатывающих заводах, создающих продукцию с высокой, добавочной стоимостью, с непрерывным многоэтапным процессом производства, нарушение технологического процесса [6] может нанести существенный экономический ущерб.

Особенности переработки нефтепродуктов обуславливают территориальную разобщенность технологических установок, большую протяженность питающих сетей (напряжение 35, 110, 220 кВ), разветвленную сеть (напряжение 6 кВ), и, как следствие, высокую вероятность повреждений, что влечет за собой посадки напряжения во всей сети электроснабжения предприятия.

Поэтому, опираясь на [7], можно сказать, что для сохранения технологического процесса, перерыв питания систем управления не должен превышать время  $\sim 0,1 - 0,4$  с.

Одним из способов повышения надежности электроснабжения ответственных отраслей, получающих электропитание от двух независимых источников, как раз и является использование средств АВР.

Основными недостатками существующих устройств АВР являются: (1) работа только при трехфазных коротких замыканиях; (2) отказы в срабатывании для сложных систем электроснабжения нефтедобычи с несколькими подстанциями; (3) довольно большое время работы устройств во время аварий.

Анализируя приведенные недостатки можно сказать, что главная задача повышения надежности работы схемы электроснабжения нефтеперерабатывающего предприятия, является определение технической возможности применения автоматического быстродействующего устройства включения резервного источника питания. А также, выявление допустимости возможных режимов переключений, определяемой статусом питающей сети.

Даже в современных электромеханических устройствах автоматического включения резервного питания [8], время цикла переключения достигает  $\sim 3-5$  с, а переходные процессы могут затягиваться больше 10 с. При этом, действие устройства АВР не может обеспечить полноценные условия для самозапуска всех электродвигателей. Это может привести к нарушению текущего технологического процесса.

Если же применять устройства АВР второго поколения с быстродействующими микропроцессорными пусковыми органами [9], то можно обеспечить переключение за время меньшее, чем 0,1 с. Однако, внедрение таких устройств, требует установки быстродействующих выключателей и защит, что резко повлияет на себестоимость и окупаемость.

С другой стороны, суммарная мощность самозапускаемых электродвигателей не может превышать 30% номинальной мощности питающего трансформатора. Это означает, что не требуется гашение поля и ресинхронизация синхронных двигателей, а токи включения двигателей составляют всего лишь  $\sim 2,5$  номинальной силы тока, что позволяет заметно увеличить ресурс электродвигателей.

Большинство промышленных производств получают питание через двухтрансформаторные понизительные подстанции напряжением  $(220-110-35)/6$  кВ, с независимыми секциями на напряжении 6 кВ. Каждая такая секция (рабочая/резервная) получает питание от своего трансформатора через выключатель ввода, а секционный выключатель нормально отключается. При повреждении же в сети, питающей одну из секций, устройство АВР отключает свой ввод питания и выключает секционный выключатель.

Поэтому, устройство АВР представляет собой один из способов обеспечения резервным электроснабжением нагрузок [10], подключенных к системе электроснабжения, имеющей не менее двух питающих вводов и направленный на повышение надежности системы электроснабжения. Вообще, АВР должен срабатывать за минимально возможное время, после отключения рабочего источника питания. Устройство должно срабатывать всегда, в случае исчезновения напряжения на шинах потребителей, независимо от причины возникновения аварии.

Есть еще одно требование, обусловленное недопустимостью многократного включения резервных источников в систему с неустранимым коротким замыканием, это срабатывание устройства АВР только однократно. Обычно, реализацию схем АВР осуществляют с помощью средств релейной защиты и автоматики [11].

Бесперебойное питание можно также реализовать по-другому, осуществив электропитание каждого потребителя от двух источников одновременно, однако подобная схема имеет ряд недостатков. Токи короткого замыкания при параллельной работе источников питания гораздо выше, чем при раздельном питании потребителей, в питающих трансформаторах потери электроэнергии гораздо выше. Наконец, релейная защита, намного сложнее, чем при раздельном питании. Это означает, что возникает необходимость дополнительного учета перетоков мощности, влияющий на режим работы всей системы.

Наконец, в качестве измерительного органа для АВР в высоковольтных сетях служат реле минимального напряжения [12], или реле контроля фаз, подключенные к защищаемым участкам через трансформаторы напряжения. В случае снижения напряжения на защищаемом участке электрической сети, реле дает сигнал в схему АВР. Однако, условие отсутствия напряжения (например, вводной выключатель был отключен намеренно) еще не является достаточным для того, чтобы устройство АВР начало незамедлительно свою работу.

Поэтому, важно уметь правильно реализовать механизм срабатывания устройства АВР. Устройство должно включаться, когда по любым причинам пропадает питание, или оно становится недостаточным (или даже неполноценным) для потребителя, пропадает одна из фаз тока, или напряжение недостаточной величины.

При этом, естественно, происходит отключение некорректного (или основного) ввода питания, и подключение другого, корректного (скажем, нормального) ввода. В этом случае, потребитель не попадает на ограничение и остается с необходимым напряжением.

Полагаем, что этот довольно простой механизм, предназначен для защиты не только интересов потребителя электрической энергии, но и защиты работы электроустановок и мощных приборов в промышленном масштабе от перебоев питания.

**4. Расчет токов короткого замыкания.** При проектировании и эксплуатации любой электроэнергетической системы, приходится считаться с возможностью возникновения в ней повреждений и ненормальных режимов работы. Наиболее распространенными, и в тоже время, опасными видами повреждений, являются короткие замыкания [13].

Предотвращение возникновения аварий или их развитие при повреждениях в электрической части энергосистемы, может быть обеспечено путем быстрого отключения поврежденного элемента, для чего применяется релейная защита и автоматика.

Нами были проведены расчеты основных параметров электросети для устройства АВР, работающего на напряжении 10 кВ, используемые в подстанциях на нефтеперерабатывающем заводе ПАО АНК «Башнефть» Республики Башкортостан.

Объектом проектирования является кабельная линия напряжением 10 кВ. Сеть напряжением 0,4 кВ имеет длину 300 м и выполнена проводом А70 (силовой провод неизолированный). Установлено устройство АВР на низшем напряжении. Коэффициент загрузки трансформаторов подстанций равен 1. Коэффициент загрузки линий составляет ~ 0,8. Линия напряжением 0,4 кВ загружена на 28 % от общей мощности трансформаторного питания. Коэффициент мощности для всех видов потребителей составляет ~ 0,8. Исходная схема для расчетов приведена на рис. 1.

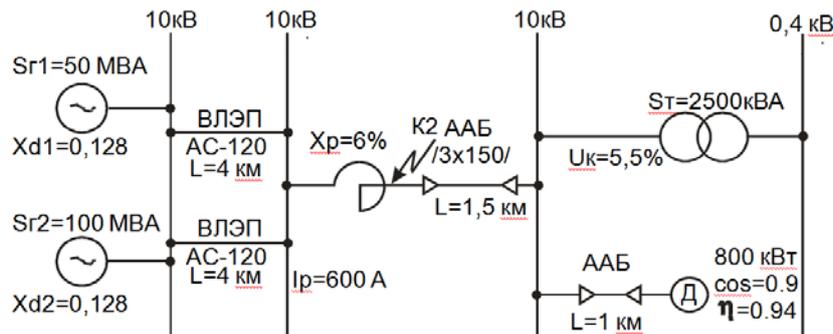


Рис. 1. Исходная схема короткого замыкания и срабатывания устройства АВР

Опираясь на [14], составим схему замещения для расчета токов короткого замыкания, согласно приведенным выше техническим характеристикам электросети.

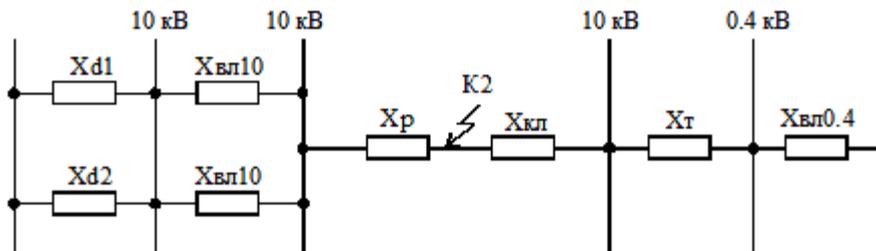


Рис. 2. Принципиальная схема замещения для расчета токов короткого замыкания

4.1. **Определение сопротивлений элементов сети.** Для начала определим сопротивление первого генератора  $Z_1$ .

$$Z_1 = X_{d1} \cdot \frac{U_{н}^2}{S_{н.г1}} = 0,128 \cdot \frac{10^2}{50 \cdot 10^3} = 0,256 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (1)$$

где  $X_{d1}$  — сверхпереходное сопротивление генератора, согласно техническим данным, принимаем равным 0,128 Ом;  $U_{н}$  — номинальное напряжение, равное 10 кВ;  $S_{н}$  — номинальная мощность генератора.

Определим сопротивление второго генератора  $Z_2$ .

$$Z_2 = X_{d2} \cdot \frac{U_{н}^2}{S_{н.г2}} = 0,128 \cdot \frac{10^2}{100 \cdot 10^3} = 0,128 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (2)$$

Теперь определим полное сопротивление генератора  $Z_2$ :

$$Z_2 = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{0,256 \cdot 10^{-3} \cdot 0,128 \cdot 10^{-3}}{0,256 \cdot 10^{-3} + 0,128 \cdot 10^{-3}} = 0,085 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (3)$$

Согласно [15], определим сопротивление линии с напряжением 10 кВ, учитывая активное сопротивление линии  $R_0$  для проводника АС-120 (силовой провод неизолированный), равное 0,25 Ом/км; индуктивное сопротивление линии  $X_0$  для проводника АС-120 (силовой провод неизолированный), равное 0,38 Ом/км; длину линии  $L_{10}$  (км) на 10 кВ.

$$\begin{aligned}
 R_{10} &= R_0 \cdot L_{10} = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ Ом} \\
 X_{10} &= X_0 \cdot L_{10} = 0,38 \cdot 4 = 1,52 \text{ Ом} \\
 Z_{л10} &= \sqrt{R_{10}^2 + X_{10}^2} \text{ Ом} \\
 Z_{л10} &= \sqrt{1^2 + 1,52^2} = 1,82 \text{ Ом}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Так как имеем две воздушные линии на 10 кВ одинакового сечения и длины, то их сопротивления, соответственно, равны. Данные линии соединены параллельно, значит, их можно представить в виде результирующего сопротивления  $Z_{л10}$ .

$$Z_{л10} = \frac{Z_{л10} \cdot Z_{л210}}{Z_{л10} + Z_{л210}} = \frac{1,82 \cdot 1,82}{1,82 + 1,82} = 0,92 \text{ Ом}
 \tag{5}$$

Исходя из того, что одинарный токоограничивающий реактор [16] типа *РБ 10–630–1.0У3* рассчитан на длительно допустимый ток при естественном охлаждении 630 А при номинальном напряжении 10 кВ, рассчитаем сопротивление реактора:

$$Z_p = \frac{X_p}{100} \cdot \frac{U_0^2}{\sqrt{3} I_{н.р.} \cdot U_{ср}} = \frac{6}{10} \cdot \frac{10^2}{\sqrt{3} \cdot 0,63 \cdot 10,5} = 0,55 \text{ Ом}
 \tag{6}$$

где  $X_p$  — относительное сопротивление реактора (в процентах), равен 6 % согласно исходным данным;  $I_{н.р.}$  — номинальный ток реактора (в кА), равен 0,63 кА согласно техническим данным;  $U_{ср}$  — среднее напряжение линии.

**4.2. Определение сопротивления кабельной линии.** Учитывая, что индуктивное сопротивление на 1 км кабеля мало зависит от сечения, то из [17] следует, что для кабелей напряжением 10 кВ величину индуктивного сопротивления можно принять равной  $X_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$ . Активное сопротивление для кабеля сечением 150 мм принимаем равным  $R_0 = 0,194 \text{ Ом/км}$ . Вычислим сопротивление кабельной линии  $Z_{кл}$ .

$$\begin{aligned}
 R_{кл} &= R_0 \cdot L = 0,194 \cdot 1,5 = 0,291 \text{ Ом} \\
 X_{кл} &= X_0 \cdot L = 0,08 \cdot 1,5 = 0,12 \text{ Ом} \\
 Z_{кл} &= \sqrt{R_{кл}^2 + X_{кл}^2} \text{ Ом} \\
 Z_{кл} &= \sqrt{0,291^2 + 0,12^2} = 0,314 \text{ Ом}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Определим сопротивление для линии напряжением 0,4 кВ.

$$\begin{aligned}
 Z_{л0,4} &= \sqrt{R_{0,4}^2 + X_{0,4}^2} = \sqrt{0,068^2 + 0,028^2} = 0,074 \text{ Ом} \\
 R_{0,4} &= R_0 \cdot L_{0,4} = 0,85 \cdot 0,08 = 0,068 \text{ Ом} \\
 X_{0,4} &= X_0 \cdot L_{0,4} = 0,35 \cdot 0,08 = 0,028 \text{ Ом}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где  $R_0$  — активное сопротивление для проводника А-35 (силовой провод неизолированный), равное 0,85 Ом/км;  $X_0$  — индуктивное сопротивление линии для проводника А-35 (силовой провод неизолированный), равное 0,35 Ом/км;  $L_{0,4}$  — длина линии (в км) напряжением 0,4 кВ.

Составим схему замещения с учетом выполненных упрощений.

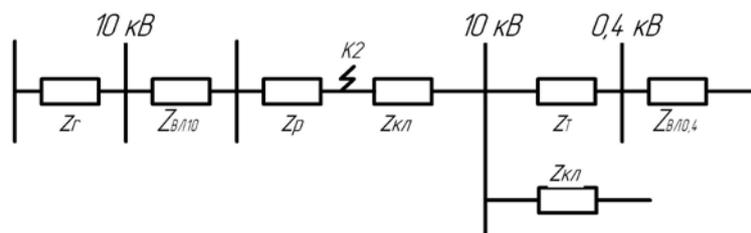


Рис. 3. Схема замещения для расчета токов короткого замыкания в точке К2

**4.3. Определение тока короткого замыкания в точке К2.** Для начала определим полное сопротивление до точки К2.

$$Z_{н2} = Z_{н1} + Z_p = 0,9201 + 0,55 = 1,47 \text{ Ом}
 \tag{9}$$

Ток трехфазного короткого замыкания в точке  $K2$  будет равен:

$$I_{кз1}^{(3)} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 1,47} = 3,92 \text{ кА} \quad (10)$$

Вычислим ток двухфазного короткого замыкания в точке  $K2$ :

$$I_{кз}^{(3)} = 0,87 \cdot 3,92 = 3,41 \text{ кА} \quad (11)$$

Определим номинальный ток двигателя:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9 \cdot 0,94} = 54,6 \text{ А} \quad (12)$$

Основываясь на технические данные из [18], по допустимому нагреву берем кабель сечением  $S$  на  $16 \text{ мм}^2$ ; индуктивное сопротивление линии  $X_0$  берем равное  $0,08 \text{ Ом/км}$ ; учтем удельную проводимость провода для алюминия

$$\gamma = 32 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}.$$

Вычислим активное  $R_0$  и полное  $Z_{кз}$  сопротивления линии:

$$R_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} = \frac{1000}{32 \cdot 16} = 1,9 \text{ Ом} \quad (13)$$

$$Z_k = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,08^2 + 1,9^2} = 1,901 \text{ Ом} \quad (14)$$

**4.4. Выбор устройств релейной защиты и автоматики.** Защиту от многофазных замыканий следует рассматривать в двухфазном исполнении [19], и включать в одни и те же фазы по всей сети данного напряжения, для обеспечения отключения в большинстве случаев двойных замыканий на землю только одного места повреждения.

Защита, как правило, должна быть выполнена в однорелейном, двухрелейном или трехрелейном исполнении. Выберем для этого реле тока замыкания и размыкания  $PT85/1$ .

Определим ток установки для указанного типа реле:

$$I_{ср} = \frac{k_n \cdot k_{сх}}{k_b \cdot n_t} \cdot I_{нагр.} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,85 \cdot 60} \cdot 480 = 11,29 \text{ А} \quad (15)$$

где  $k_n$  — коэффициент надежности, равный  $1,2$ ;  $k_b$  — коэффициент возврата для реле типа  $PT-85$ , равный  $0,85$ ;  $k_{сх}$  — коэффициент схемы для неполной звезды, равный  $1$ ;  $n_t$  — коэффициент трансформации для трансформаторов тока, равный  $60$ ;  $I_{нагр.}$  — ток нагрузки, проходящий по кабельной линии.

Вычислим ток срабатывания отсечки.

$$I_{с.о.} = \frac{k_n \cdot k_{сх}}{n_t} \cdot I_{кз}^{(3)} = \frac{1,2 \cdot 1}{60} \cdot 3410 = 68,2 \text{ А} \quad (16)$$

Так как ток установки почти соответствует значению  $\sim 12 \text{ А}$ , то принимаем установку реле на больший ток срабатывания отсечки  $\sim 70 \text{ А}$ .

Наконец, определим коэффициент чувствительности отсечки, с учетом того, что вычисленное значение должно быть больше  $2$ , для удовлетворения требованиям чувствительности.

$$k_{ч} = \frac{I_{r/\min}}{n_t \cdot I_{ср}} > 2 \quad (17)$$

$$k_{ч} = \frac{3410}{60 \cdot 7} = 8,12 > 2$$

Таким образом, согласно проведенным расчетам, можно сказать, что время срабатывания отсечки и коэффициент срабатывания отсечки реле  $PT85/1$  удовлетворяют требованиям, позволяющим использовать данную релейную защиту на подстанциях нефтеперерабатывающих заводов.

**5. Выводы, заключение.** На современном этапе, грамотные физико-технические расчеты, дальнейшее развитие и совершенствование устройств АВР с повышением надежности его работы, обеспечением быстродействия до уровня, необходимого для сохранения динамической устойчивости комплексной электродвигательной нагрузки, позволит сохранить непрерывность технологического процесса нефтедобычи, снизить вероятность возникновения опасных режимов (например, гидравлических ударов, разливов нефти), повысить экономичность работы нефтедобывающего комплекса.

Это означает, что существующие устройства АВР на подстанциях 35/6 кВ нефтедобычи, нефтепереработки с разным составом нагрузок подстанций, имеющие времена срабатывания 5–20 с, перестанут быть причиной отключения технологических агрегатов при кратковременных нарушениях электроснабжения в питающих линиях (например, 35, 110 кВ, полная потеря питания).

С другой стороны, даже одно успешное переключение, возможно сможет обеспечить непрерывность работы установки, исключит необходимость процесса повторного (следующего) запуска (переключения). То есть, правильные расчеты вполне могут обеспечить полную окупаемость вложений, необходимых для установки комплектов на узлы.

Таким образом, современные устройства АВР вполне могут обеспечить подключение отдельного источника электроэнергии (например, генератор, аккумуляторная батарея), или включить выключатель, разделяющий сеть, при этом перерыв питания можно довести до 0,3–0,8 с.

Значит, при проектировании инновационных схем АВР, важно учитывать пропускную способность питающего трансформатора, а также мощность источника энергии, питающих параллельную систему. Это условие является основным и необходимым инструментом для осуществления надежной и постоянной работы крупных предприятий.

Поэтому, внедрение устройств АВР в системы электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли, возможно только после тщательной оценки существующей схемы электроснабжения, расчета параметров сети при аварийных режимах и экономической эффективности от внедрения устройства, а также полном представлении всех трудностей, возникающих при эксплуатации данного оборудования.

#### Литература:

1. Мурзакаев, П. Электроснабжение дата-центров: эффективность и надежность для сохранения данных. // Автоматизация и ИТ в энергетике. — М.: Издательство «Издательский дом ИД АВИТ-ТЭК», 2016. — № 7 (84). — с. 20–24.
2. Пупин, В. М., Куфтин Д. С., Сафонов Д. О. Анализ провалов напряжений в сетях предприятий и способы защиты электрооборудования. // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — М.: Издательство «Издательский дом Панорама», 2013. — № 4. — с. 40–46.
3. Романюк, Ф. А., Шевалдин М. А. Принципы выполнения токовой защиты линий с односторонним питанием от междофазных коротких замыканий. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. — Минск: Издательство «Белорусский национальный технический университет», 2015. — № 1. — с. 5–11.
4. Фигурнов, Е. П., Стороженко Е. А., Петрова Т. Е., Бодров П. А. Релейная защита. Техническое обслуживание защит. — Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: Издательство «Ростовский государственный университет путей сообщения», 2004. — 79 с.
5. Тимербаев, А. И., Кузнецов А. С. Исследование режимов работы устройства быстродействующего автоматического включения резерва SUE3000 в электроустановках 6кВ ОАО «Газпром Нефтехим Салават». // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. — Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Уфа: Издательство «ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет», 2013. — с. 125–128.
6. Валеев, А. И., Марченко Г. Н. Обеспечение системной надежности электроснабжения промышленных потребителей. // Энергетика Татарстана. — Казань: Издательство «ООО Редакция журнала Энергетика Татарстана», 2009. — № 2. — с. 45–51.
7. Вахрушев, П. В., Моисеенко А. Б. Поиск однофазных замыканий на землю в распределительных сетях электроснабжения 6–10 кВ. // Научно-технический вестник ОАО «НК РОСНЕФТЬ». — М.: Издательство «ЗАО Нефтяное хозяйство», 2011. — № 4. — с. 51–53.
8. Гамазин, С. И., Пупин В. М., Цырук С. А. Кратковременные нарушения нормального электроснабжения потребителей и современные способы их защиты. // Электрика. — М.: Издательство «Наука и технологии ООО», 2008. — № 7. — с. 8–11.
9. Кожевникова, Е. С., Кубарьков Ю. П., Синельникова С. Н., Челпанов В. В. Повышение надежности схемы электроснабжения нефтеперерабатывающего предприятия. // Труды Кольского научного центра РАН. — Самара: Издательство «Кольский научный центр РАН», 2011. — № 5. — с. 170–178.
10. Гаязов, А. М. Быстродействующий автоматический ввод резерва (БАВР) в системах электроснабжения с синхронными и асинхронными двигателями. // Новые технологии — нефтегазовому региону. — Материалы Международной научно-практической конференции. — Тюмень: Издательство «Тюменский индустриальный университет», 2016. — с. 308–311.
11. Минакова, Т. Е., Минаков В. Ф. Открытая архитектура релейной защиты и автоматики. // Международный научно-исследовательский журнал. — Екатеринбург: Издательство «Соколова Марина Владимировна», 2013. — № 12–1 (19). — с. 110–111.

12. Филиппов, В. В. Контроль включения сетевого резерва делительной автоматикой. // Молодой ученый. — Чита: Издательство «ООО Издательство Молодой ученый», 2015. — № 8 (88). — с. 324–326.
13. Крысанов, В. Н., Астафьев С. В. Быстродействующее регулирование напряжения при коротком замыкании в высоковольтных линиях. // Электротехнические комплексы и системы управления. — Воронеж: Издательство «ЗАО Воронежский инновационно-технологический центр», 2010. — № 1. — с. 56–60.
14. Неклепаев, Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций. — М.: Издательство «Энергоатомиздат», 1989. — 608 с.
15. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. — М.: Издательство «Высшая школа», 1991. — с. 75.
16. Федоров, А. А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. — М.: Издательство «Энергоатомиздат», 1987. — 592 с.
17. Будзко, И. А., Лещинская Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства. — М.: Издательство «Колос», 2000. — с. 185.
18. Каганов, И. Л. Курсовое и дипломное проектирование. — М.: Издательство «Агропромиздат», 1990. — с. 75.
19. Правила устройств электроустановок. — 6 издание. — М.: Издательство «Госэнергонадзор», 2000. — 608 с.

## Особенности регулирования напряжения в распределительных сетях с малой генерацией

Непша Федор Сергеевич, аспирант

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

*Представлены преимущества использования малой генерации в распределительных сетях. Описана проблема регулирования напряжения в сетях с малой генерацией, а также показана возможность применения принципов встречного регулирования напряжения с появлением объектов малой генерации. Приведены недостатки системы регулирования, использующей в качестве регулятора только АПВ и АРН генератора. Приведены требования, предъявляемые к системам активно-адаптивного регулирования напряжения в сетях с малой генерацией.*

**Ключевые слова:** оптимизация, малая энергетика, распределительные сети, потери активной мощности, регулирование напряжения

Либерализация рынков электроэнергии в развитых странах мира [1], а также развитие технологий ориентированных на снижение себестоимости производства электрической энергии на объектах малой генерации позволило создать дополнительный стимул для развития малой энергетики. Кроме того, значительное влияние на развитие малой энергетики оказал Киотский протокол [2], подписанный в 1998 году и включающий обязательства, направленные на снижение совокупного среднего уровня выбросов 6 типов газов (углекислый газ, метан, фторуглероды, фторуглероды, окись азота, гексафторид серы) на 5,2% по сравнению с уровнем 1990 года. В связи с этим, решение технических проблем связанных с подключением объектов малой генерации к объединённой энергетической системе (ОЭС) с каждым днем становится все более актуальной задачей.

Большинство технических проблем подключения малой генерации связано с тем, что электроэнергетическая система большинства стран была сформирована во второй половине XX века и структурно формировалась для обеспечения транспорта электрической энергии

от крупных объектов генерации до потребителя. В связи с этим, совершенно ясно, что современные электрические сети структурно и технически не адаптированы для подключения объектов малой генерации и требуют проведения научных исследований направленных на повышение эффективности присоединения объектов малой генерации к ОЭС.

Важно отметить, что появление малой генерации в распределительной сети 6–10 кВ оказывает следующие положительные эффекты:

- снижается загрузка существующих элементов сети 6–500 кВ;
- снижаются потери в распределительной и системообразующей сети за счет сокращения расстояния между производителем и потребителем электрической энергии;
- увеличивается резерв мощности по объектам централизованной генерации;
- повышает надежность электроснабжения потребителей находящихся вблизи объектов малой генерации.

Появление объектов малой генерации оказывает значительное влияние на регулирование напряжения в рас-

пределительной сети и вносит дополнения в спектр существующих средств регулирования напряжения таких как:

- централизованное регулирование напряжения в центрах питания с помощью устройств РПН;
- ступенчатое и плавное регулирование напряжения с использованием устройств компенсации реактивной мощности и устройств FACTS;
- сезонное регулирование напряжения в сети 10/0,4 кВ с использованием ПБВ на ТП.

В современных сетях координированное использование вышеуказанных средств регулирования вполне достаточно для обеспечения требуемого уровня напряжения как в точке передаче электрической энергии, так и на зажимах электроприемников. Но с появлением в распределительных сетях 6–10 кВ объектов малой генерации процесс изменения напряжения в распределительной сети значительно усложняется и в связи с отсутствием автоматизации процесса регулирования напряжения приводит к отклонению уровня напряжения у потребителей за пределы допустимых значений.

На рисунке 1 показаны эпюры напряжений в распределительной сети «до» и «после» подключения малой генерации.

Кривая 1 иллюстрирует изменение напряжения в сети без подключения объекта малой генерации. Уровень напряжения на всем протяжении сети находится в пределах допустимых значений. После подключения объекта малой генерации к узлу № 3 в этом узле наблюдается выход напряжения за допустимые диапазоны в часы минимума нагрузки энергоузла (кривая 2). В связи с этим приходится ограничивать генерацию  $P_g$ , что не позволяет полностью использовать ресурсы объекта, особенно в том случае,

когда идет речь о возобновляемых источниках электроэнергии имеющих случайный характер (ВЭС, СЭС). Это приводит к снижению совокупной выработки малой генерацией и, как следствие, увеличению сроков окупаемости. Для того чтобы исключить выход напряжения из верхнего диапазона возможно перевести РПН на питающей подстанции, тогда эпюр напряжения примет вид кривой 3. Напряжение находится в допустимых диапазонах, но в режиме максимума энергосистемы, напряжение на наиболее удаленном участке сети выйдет за пределы нижнего диапазона (кривая 5). Важно отметить, что с появлением малой генерации нагрузка трансформатора питающей подстанции изменяется неодинаково, следовательно, реализовать классические принципы встречного регулирования напряжения не представляется возможным.

В некоторых случаях, в частности на объектах генерации работающих на синхронных двигателях, напряжение в часы минимума нагрузки может быть снижено путем потребления трансформаторами избыточной реактивной мощности. Однако синхронные генераторы малой мощности в большинстве случаев не способны поглощать из сети реактивную мощность в связи с наличием ограничителя минимального возбуждения (ОМВ), предотвращающего перегрев машины, а также потерю устойчивости в режиме недокомпенсации. Таким образом, диапазон регулирования выдачи реактивной мощности на объекте малой генерации недостаточен для исключения повышения напряжения выше допустимых значений, что делает целесообразным использование устройств регулирования на центре питания.

В настоящее время регулирование напряжения в распределительных сетях может осуществляться в автомати-

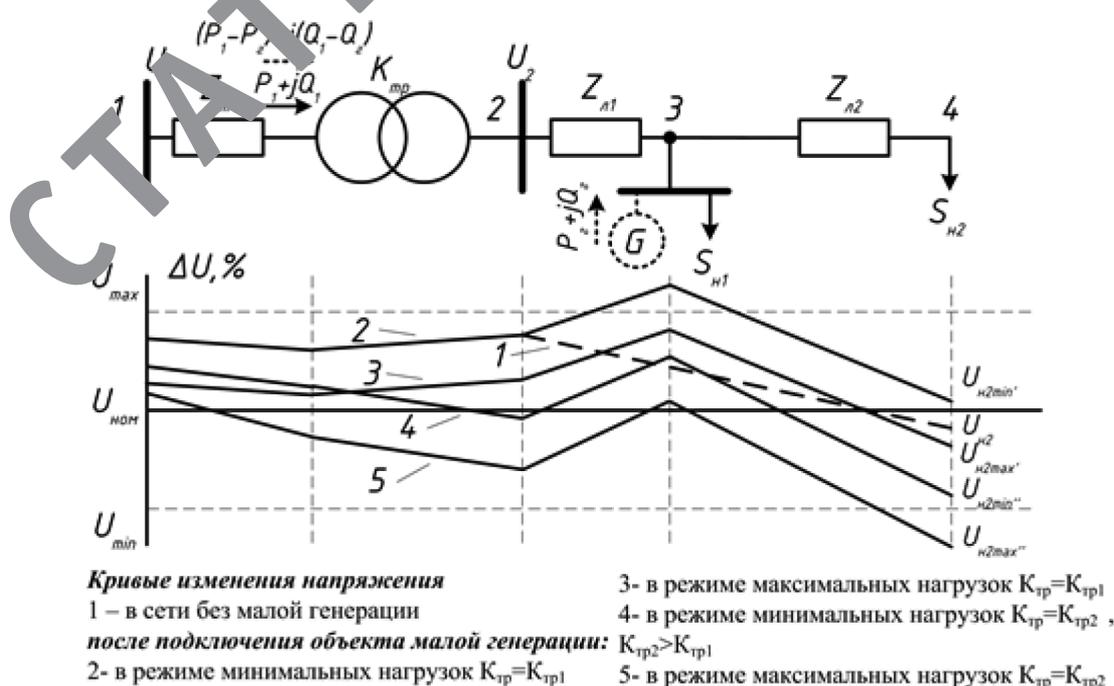


Рис. 1. Кривые изменения напряжения в распределительной сети «до» и «после» подключения малой генерации

ческом режиме с помощью устройств автоматического регулирования напряжения трансформаторов (АРНТ). Тем не менее, несмотря на преимущества их использования, на большинстве подстанций 35–110 кВ устройства АРНТ переведены в неавтоматический режим [3].

Тем не менее, даже при использовании устройств АРНТ имеется ряд недостатков, которые не позволяют полностью реализовать преимущества малой генерации, а также обеспечить снижение потерь (потребляемой мощности) в распределительных сетях:

1. При регулировании напряжения не учитываются статические характеристики нагрузки. Данное требование особенно актуально для распределительных сетей промышленных предприятий, т. к. в таких сетях повышение напряжения приводит к росту потребляемой активной мощности.

2. Обратная связь по напряжению между электроприемниками и средствами регулирования напряжения выполняется только с участием человека. В случае значительного снижения (повышения) напряжения в питающей сети, требуется значительный промежуток времени для восстановления необходимого уровня напряжения на зажимах электроприемников.

3. Устройства компенсации реактивной мощности не полностью задействуются при регулировании напряжения в сети.

4. Принимая во внимание кривые изменения напряжения, представленные на рисунке 1, работа устройств АРНТ может привести к выходу оборудования из строя.

5. Так как генераторы на объектах малой генерации, как правило, не имеют возможности поощрять реак-

тивную мощность, для исключения выхода напряжения за верхние пределы необходимо ограничить уровень генерации. Снижение уровня генерируемой энергии приводит к росту сроков окупаемости объектов малой генерации, а также росту тарифов на электроэнергию.

6. Используемая система регулирования на базе устройств АРНТ не позволяет обеспечить минимизацию потерь активной мощности (потребляемой активной мощности) в распределительных сетях.

Из вышесказанного следует, что для обеспечения максимального использования малой генерации, а также поддержания напряжения в требуемом диапазоне необходимо разработать систему взаимосвязанного регулирования напряжения, учитывающую топологию сети, а также свойства всех средств регулирования напряжения (УКРМ, FACTS, РПН, генерация).

Концепция данной системы была предложена в работе [4]. Ее структура представлена на рисунке 2.

Для ее реализации предлагается оснастить объекты малой генерации и питающие подстанции устройствами телемеханики, позволяющими, передавать информацию о текущем уровне напряжения, генерации, а также принимать сигналы на изменение уровня возбуждения генератора и изменение положения РПН питающей подстанции.

Предложенная система работает следующим образом: в режиме реального времени производится сбор информации от имеющихся в распределительной сети датчиков, а также устройств телемеханики ЦП и объекта малой генерации. Данные поступают в блок сбора информации. Затем информация поступает в расчетный блок, в котором выполняется расчет потокораспределения в распредели-

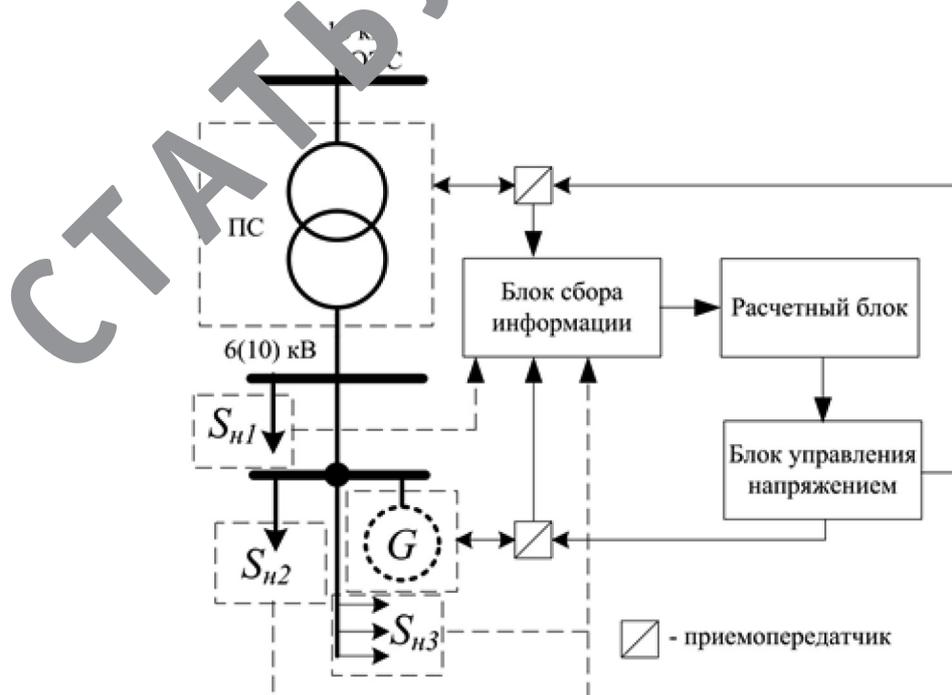


Рис. 2. Структурная схема регулирования напряжения

тельной сети любыми известными методами. После расчетная информация поступает в блок управления напряжением, в котором производится проверка граничных условий по напряжению во всех точках распределительной сети. В случае несоответствия напряжения допустимым значениям формируется сигнал на изменение положения РПН или изменение уровня возбуждения генератора.

Предложенная схема регулирования позволяет обеспечить максимальное использование малой генерации и увеличить возможности существующих сетей по подключению объектов малой генерации.

Тем не менее, данная концепция имеет следующие недостатки:

— не учтено влияние других объектов малой генерации, а также других устройств регулирования напряжения на уровень напряжения в системообразующей сети;

— не учитывается случайный характер генерации ВЭС, СЭС, требующий соответствующие механизмы прогнозирования;

— для регулирования напряжения не используются устройства компенсации реактивной мощности и устройства FACTS;

— при выборе положения РПН и уровня возбуждения генератора не учитывается критерий минимума потерь активной мощности в распределительной сети. Регулирование напряжения выполняется исключительно по критерию обеспечения нормативного уровня напряжения;

— не учитываются статические характеристики нагрузки.

Таким образом, в дополнение к вышеуказанной концепции системы регулирования напряжения, для максимально эффективного использования объектов малой генерации, а также повышения энергоэффективности распределительных сетей, система регулирования должна обладать следующим набором функций:

1. Осуществлять выбор оптимального положения устройства РПН исходя из уровня напряжения на наиболее электрически близких и электрически удаленных электроприемниках.

2. Учитывать эксплуатационный ресурс РПН при выполнении регулирования.

3. Выполнять регулирование по критерию минимума потерь активной мощности (потребления активной мощности).

4. При регулировании напряжения должно учитываться наличие в сети источников реактивной мощности (ИРМ). ИРМ должны принимать участие в функционировании системы регулирования.

5. В случае если уровень генерации имеет случайный характер, система регулирования должна включать в себя механизм прогнозирования уровня генерации.

Кроме того, учитывая, что в условиях вышеуказанной системы регулирования, традиционные алгоритмы оптимизации размещения УКРМ не эффективны по причине постоянного изменения параметров сети, необходимо разработать алгоритм оптимизации размещения УКРМ в условиях мультивариантности состояний распределительных сетей.

#### Выводы:

6. Появление малой генерации в распределительных сетях делает возможным встречное регулирование напряжения в допустимых диапазонах в минимальных режимах необходимо ограничивать генерацию, что снижает объемы энергии, производимые объектами малой генерации и, как следствие, сроки окупаемости объектов малой генерации.

7. Объекты малой генерации оказывают положительное влияние на энергоэффективность существующих сетей за счет разгрузки питающих линий.

8. Существующие системы регулирования напряжения на базе устройств АРНТ не позволяют обеспечить эффективное и экономичное регулирование напряжения в распределительных сетях с малой генерацией.

9. При разработке системы централизованного регулирования напряжения в распределительных сетях с малой генерацией необходимо учитывать критерий минимума потерь активной мощности и (или) критерий минимума потребления активной мощности.

#### Литература

1. Уроки, извлеченные из либерализации рынков электроэнергии / Международное энергетическое агентство (МЭА). 2005.
2. Сайт рамочной конвенции ООН об изменении климата [электронный ресурс], Киотский протокол к рамочной конвенции ООН об изменении климата — режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpрус.pdf> (дата обращения: 10.12.2015).
3. Непша, Ф.С. К вопросу создания активно-адаптивной системы регулирования напряжения в распределительных сетях // Сборник статей по материалам XV международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс-2014». (6–7 ноября 2014 г., г. Кемерово) — с. 30–34.
4. A. Bonhomme, B. Cortinas, A. Boulanger, J.-L. Fraisse «Une nouvelle fonction de regulation de tension pour faciliter le raccordement de producteurs decentralises sur le reseau de distribution», Conference: Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482), Volume: 4. режим доступа: [http://www.cired.net/publications/cired2001/4\\_8F.pdf](http://www.cired.net/publications/cired2001/4_8F.pdf) (дата обращения: 10.12.2015).
5. Веников, В. А., Идельчик В. И., Лисеев М. С. Регулирование напряжения в электрических системах. М.: Энергоатомиздат, 1985.

6. Автоматизация управления энергообъединениями / В. В. Гончуков, В. М. Горнштейн, Л. А. Крумм и др.; Под ред. С. А. Совалова. М.: Энергия, 1979.

## Применение технологии «тонкий клиент» на промышленных предприятиях

Петухов Роман Николаевич, магистрант

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*В статье представлены описание технологии «тонкий клиент», её преимущества и недостатки в сравнении с обычными рабочими местами на основе персонального компьютера. Представлена характеристика экономической эффективности технологии на промышленных предприятиях*

**Ключевые слова:** технология «тонкий клиент», терминальная архитектура, IT-технологии

Современные IT-технологии и большой объем информации стали неотъемлемой частью функционирования большинства предприятий. Во многих промышленных предприятиях выделяют отдельные IT-службы, и формируют отдельную статью затрат на IT-инфраструктуру в бюджете компании. В настоящее время, компьютер является обязательным элементом для большинства рабочих мест предприятий, на предприятиях с большой численностью персонала обслуживание компьютерной техники влечет за собой большие финансовые и трудовые затраты.

Ситуацию усугубляет регулярное обновление программного обеспечения, которое адаптируется под новые, более мощные аппаратные ресурсы, что вынуждает предприятия регулярно обновлять парк компьютерной техники.

Тонкий клиент — это аппаратное устройство-клиент в сетях клиент-серверной или терминальной архитектурой, не имеющее собственных вычислительных мощностей, которое подключено к общему для всех пользователей терминальному серверу и используется для отображения информации.



Рис. 1. Внешний вид тонкого клиента

Технология «тонкий клиент» базируется на трех основных составляющих:

- полное выполнение прикладных задач на терминальном сервере;
- многопользовательская операционная система;
- распределенное отображение пользовательского интерфейса.

В настоящее время сложилось два основных вида построения вычислительных систем по типу архитектуры: централизованный и распределенный. Основным разли-

чием архитектур является то, что на распределенной архитектуре большая часть вычислений происходит на устройстве-клиенте и сервер используется только для хранения информации, а на централизованной архитектуре все вычисления производятся на централизованном сервере. Технология «тонкий клиент» подразумевает централизованную архитектуру с подключенными тонкими клиентами. На центральной площадке, как правило, располагается сервер приложений, который может быть связан с сервером баз данных, также на площадке может находиться

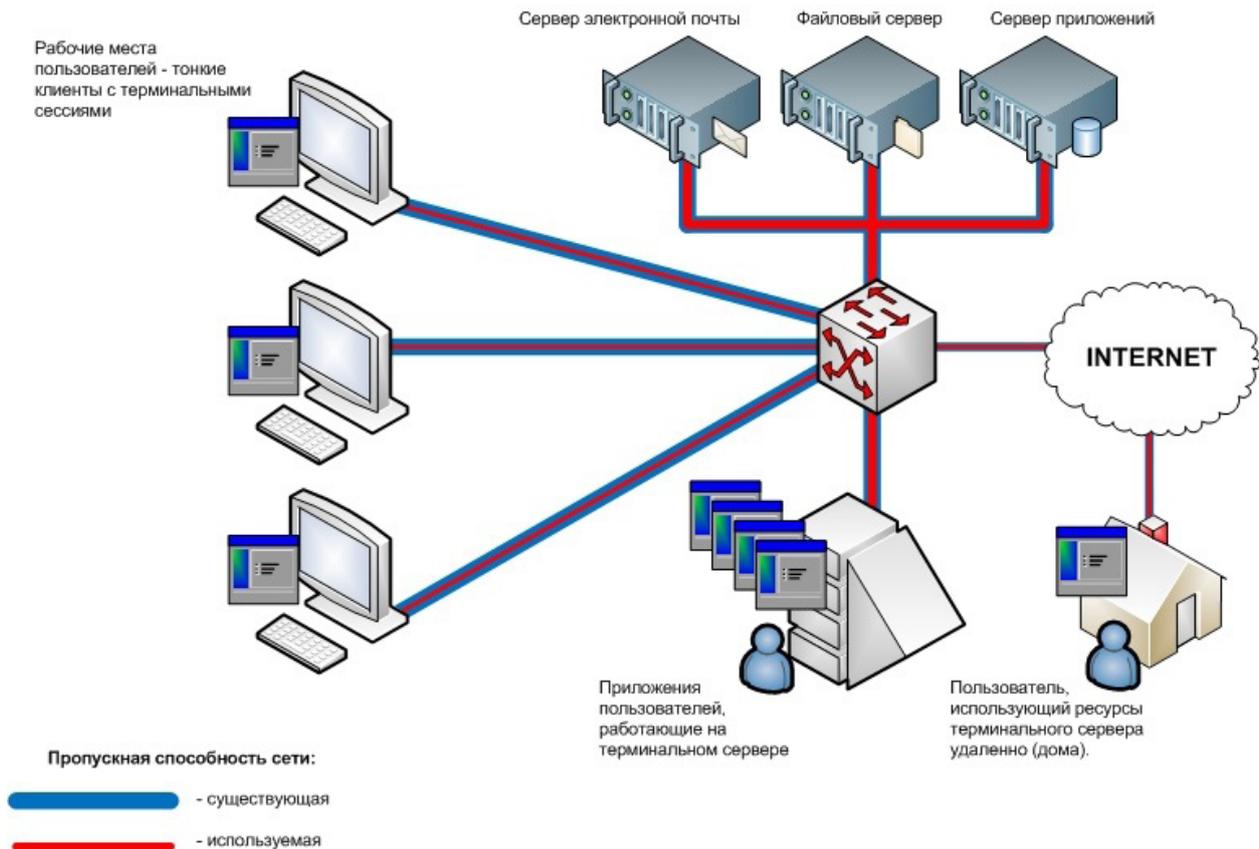


Рис. 2. Схема терминальной сети предприятия

резервный терминальный сервер для повышения отказоустойчивости и надежности системы. Тонкие клиенты могут быть, не только стационарными и подключаться через LAN, но и мобильными и подключаться через WAN.

Преимущества технологии «тонкий клиент»:

- снижение начальных затрат на приобретение оборудования, вследствие минимальных требований к конфигурации;
- снижение энергопотребления в несколько раз;
- унификация (одинаковый набор ПО для всех пользователей);
- простота администрирования (нет необходимости настраивать каждый компьютер по отдельности);
- масштабируемость;
- безопасность и отказоустойчивость (настройка терминала осуществляется только отделом информационной поддержки, и вся пользовательская информация хранится на сервере на RAID-массиве и регулярно резервируется);
- защита от утечек информации;
- высокое быстродействие, по сравнению с отдельными рабочими станциями;
- простота наращивания вычислительной мощности (сервер легче модернизировать, чем весь парк компьютеров);
- возможность получить доступ к своему рабочему столу с любого терминала, нет привязки к определенному рабочему месту;

- отсутствие проблем при отключении питания;
- ускорение работы корпоративных систем, таких как 1С и т. д.;

- повышенная эргономика.

Как мы видим, технология «тонкий клиент» имеет много преимуществ по сравнению с отдельными рабочими станциями, что привлекает внимание многих руководителей предприятий и IT-служб.

Недостатки технологии «тонкий клиент» в основном связаны с высокими требованиями к серверу и высокой стоимостью серверного оборудования:

- терминалы не предназначены для выполнения тяжелых задач, таких 3D-моделирование, и других задач, которые используют большой сетевой трафик;
- высокая стоимость терминального сервера;
- высокие требования к надежности;
- высокие требования к пропускной способности сетевого канала.

Для оценки финансовой эффективности внедрения технологии «тонкий клиент» можно использовать формулу стоимости владения компьютерной системой, которая включает в себя четыре составляющие: капитальные затраты на приобретение и содержание компьютерной техники и сопутствующего ПО, стоимость технического обслуживания, административные расходы, потери рабочего времени. Целесообразность внедрения технологии на крупных промышленных предприятиях

Таблица 1. Сравнительная таблица стоимости содержания рабочих мест на базе ПК и тонких клиентов

| Статья затрат           | Затраты для 500 рабочих мест на базе ПК, у. е | Затраты для 500 рабочих мест на базе тонких клиентов, у. е |
|-------------------------|---|--|
| Персональный компьютер  | 2250000                                       | -  |
| Монитор                 | 1000000                                       | 1000000  |
| Тонкий клиент           | -   | 1000000  |
| Терминальный сервер     |   | 160000   |
| Лицензии Windows Server |   | 200000   |
| Лицензии Windows 7      | 300000  | -  |
| Электроэнергия          | 154050  | 12340  |
| Ввод в эксплуатацию     | 140000  | 61000  |
| Стоимость обслуживания  | 25000   | 7500   |
| Итого                   | 3869050                                       | 2440840  |

Таблица 2. Зависимость эффективности внедрения технологии «тонкий клиент» от количества рабочих мест за 1 и 3 года эксплуатации

|                    | Срок эксплуатации | Количество рабочих мест |     |     |     |      |
|--------------------|-------------------|-------------------------|-----|-----|-----|------|
|                    |                   | 100                     | 200 | 500 | 800 | 1000 |
| Снижение затрат, % | 1 год             | 30                      | 34  | 37  | 36  | 36   |
|                    | 3 года            | 35                      | 38  | 40  | 41  | 41   |

обусловлена: во-первых, большой численностью персонала; во-вторых, во многих производственных цехах агрессивные внешние условия, что снижает срок службы обычных компьютеров из-за наличия в них движущихся частей; в-третьих, низкая нагрузка на ИТ-службу в случае использования терминальной технологии. В таблице 1 проведен сравнительный расчет стоимости покупки, установки и обслуживания 500 рабочих мест на базе персональных компьютеров и тонких клиентов за 1 год эксплуатации.

Эффективность внедрения технологии напрямую зависит от количества рабочих мест, прямая экономия на оборудовании и лицензиях ПО, от 20% — для 100 ра-

бочих мест, до 30–40% — для 500 рабочих мест, но основная экономия заключается в снижении затрат на обслуживание. В таблице 2 приведена зависимость процентов снижения затрат от количества рабочих мест и сроков эксплуатации. Разница между первым и третьим годом эксплуатации говорит о том, что высокую долю в затратах занимают эксплуатационные расходы.

Таким образом, постоянное обновление программного обеспечения производителями, ужесточение лицензионной политики в отношении использования ПО, стремление предприятий к повышению эффективности инвестиций в ИТ-инфраструктуру, будет повышать популярность технологии «тонкий клиент».

Литература:

1. А. Омеляненко. Технология «тонкий клиент» как инструмент повышения эффективности инвестиций в ИТ-инфраструктуру./ Финансовая газета № 37, 2005 г.
2. О. Спиряев. Особенности тонких клиентов./ Москва: Bytemag, Платформы и технологии № 10 (74), 2004 г.
3. Тонкие решения для крупных корпораций./Citrix, ИТ-технологии № 15 (48), 2013 г.
4. Достоинства и недостатки терминальных решений [Электронный ресурс]. URL: <http://www.axsystem.ru/>

## Обработка навигационных данных в навигационных системах подвижных наземных объектов

Сурков Владимир Олегович, аспирант  
Тамбовский государственный технический университет

*В статье проанализированы методы обработки навигационных данных в навигационных системах подвижных наземных объектов (ПНО), с помощью которых возможно не только оценивать необходимые для потребителя параметры, но и решать задачу определения факта наличия сигналов на входе приемных устройств радиотехнических измерителей. Также предложено, используя данные методы, синтезировать алгоритмы, позволяющие не только определять факт наличия сигналов на входе приемных устройств радиотехнических измерителей, но и позволит сделать заключение о достоверности данных от радиотехнического измерителя.*

Для обеспечения достоверности и доступности данных навигационных систем ПНО необходимо не только производить оценивание вектора состояния, но и решать задачу оценивания наличия сигналов на входе приемных устройств радиотехнических измерителей. В состав большинства современных систем навигации для ПНО входит приемник СРНС [1], сигнал которого в некоторые моменты времени может отсутствовать и что приводит к значительному росту погрешностей в определении местоположения. Полученные в данном случае значения не соответствуют требуемым значениям, приведенным в [2], поэтому появляется необходимость применения различных методов контроля состояния приемника СРНС. Используемые в настоящее время методы обработки навигационных данных эффективны лишь при наличии выходных сигналов с датчиков, то есть исправной работе датчиков, входящих в состав навигационной системы и не позволяют реализовать необходимый контроль.

Для решения данной задачи наилучшим образом подходят методы марковской теории оптимального нелинейного оценивания. Подобную задачу можно сформулировать следующим образом. В течение фиксированного отрезка времени  $[0, T]$  наблюдается реализация векторного случайного процесса  $\Xi(t) = [\xi_i(t)]$ ,  $i = \overline{1, n}$ , (протекающего в дискретном или непрерывном времени). Наблюдаемый процесс — вектор наблюдения РТИ  $\Xi(t)$  представляет собой в общем случае смесь полезного радиосигнала  $S(t) = [s_i(t, X)]$  и шума  $N_\xi(t) = [n_{\xi_i}(t)]$ ,  $i = \overline{1, n}$ , где  $X(t) = [x_i(t)]$ ,  $i = \overline{1, n_x}$ , — подлежащий оцениванию вектор параметров радиосигналов, описываемый, в частности, стохастическим дифференциальным уравнением в форме

$$\frac{dX(t)}{dt} = F_x X(t) + C(t)W(t) + G_x N_x(t) \quad X(t_0) = X_0 \quad (1)$$

При этом компоненты вектора наблюдения РТИ

$$\xi_i(t) = \begin{cases} s_i(t, X) + n_{\xi_i}(t) \\ n_{\xi_i}(t) \end{cases}$$

Введенный параметр  $\lambda_i$  представляет собой случайную величину, которая может принимать одно из альтернативных значений,  $\lambda_i = 1$ , что соответствует наличию сигнала  $s_i(t, X)$  в наблюдаемом колебании  $\xi_i(t)$  и  $\lambda_i = 0$ , что означает отсутствие  $i$ -го сигнала.

Введем векторную случайную величину,  $\Lambda^T = [\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n]$  которая может принимать одно из  $m=2^n$  значений  $\Lambda_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ .

Рассматривая принимаемую реализацию в виде

$$\Xi(t) = S(t, X, \Lambda) + N_\xi(t) \quad (2)$$

сигнал  $S(t, X, \Lambda)$  можно считать принадлежащим к  $m$  непересекающимся классам, определяемых значением векторного дискретного параметра  $\Lambda$ .

Вектор наблюдения нерадиотехнических измерителей (НРТИ), входящих в состав навигационной системы принимается в виде

$$\hat{\mathbf{I}}_2(t_{k+1}) = \mathbf{H}(t_{k+1})\mathbf{X}(t_{k+1}) + \mathbf{U}(t_{k+1}), \quad (3)$$

В результате обработки реализации  $\Xi(t)$  и  $\hat{\mathbf{I}}_2(t)$  на интервале времени  $[0, T]$  требуется оценить вектор непрерывных параметров  $\mathbf{X}(t)$ , а также принять одно из  $m$  решений, согласно которому считается,  $\Lambda = \Lambda_i$ , что, в конечном счете, сводится к оценке дискретного векторного параметра  $\Lambda$ .

Найденная оценка векторного дискретного параметра и определяет конфигурацию навигационной системы для текущего тактового интервала времени и реконфигурацию к следующему интервалу времени. Данный случай был рассмотрен в работах [3,4]. Применение методов марковской теории оценивания случайных процессов позволило решить задачу синтеза алгоритмов обработки информации в навигационных системах и, оценивая значение дискретного параметра, сделать вывод о текущем состоянии РТИ.

Если реализация наблюдения (2) представлена в виде

$$\Xi(t) = S(t, X, \Omega) + N_\xi(t) \quad (4)$$

То в данном случае дискретный процесс  $\Omega$  является векторным двухкомпонентным процессом, представляющих собой векторное произведение дискретных параметров  $\Lambda$  и  $\Theta$ . Оценивание  $\Lambda$  и  $\Theta$  позволяет определять факт наличия сигнала на входе РТИ и контролировать радионавигационное поле сигналов. Данная задача впервые была рассмотрена в работе [5] Это позволило впервые решить задачу синтеза алгоритмов обработки информации в навигационных системах наземных подвижных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения для случая, когда в качестве радиотехнического измерителя используется спутниковая радионавигационная система [6]

При разработке алгоритмов обработки информации навигационных систем ПНО требуется дальнейшее развитие методов марковской теории оценивания случайных процессов и полей. Это связано с тем, что возможно полное отсутствие сигналов на выходе РТИ из-за их отказа или кратковременное отсутствие радиосигналов на входе РТИ из-за затенения, плохой геометрии видимых источников излучения, воздействия радиопомех, возможен отказ приемника СРНС, который приводит к недостоверности информации от приемника.

Для оценки достоверности информации от приемника СРНС возможно использование избыточной информации от других датчиков, имеющихся в составе навигационной системы, например бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС). Если произойдет отказ в работе одного из приемных каналов приемника СРНС, то это приведет к резкому изменению постоянной составляющей  $\Delta_{a\zeta}(t_k)$  БИНС. Так как значения этой составляющей не превышает некоторого заранее известного предельного значения то можно с уверенностью сказать о недостоверности данных от приемника СРНС. В соответствии с этим для определения достоверности данных можно осуществлять идентификацию и адаптивное оценивание с использованием методов марковской теории оценивания рассмотренную в работах [7,8]

Получаемый в данном случае результат дает принципиальную возможность выявления факта неправильного функционирования РТИ (перехода его в состояние временного отказа), позволяя идентифицировать и изолировать РТИ или канал измерения, оценить достоверность данных от приемника СРНС, произвести оценку фильтруемого процесса и необходимую реконфигурацию структуры системы на основе выполненных действий.

Таким образом, для решения задачи обеспечения достоверности и доступности данных навигационных систем ПНО необходимо синтезировать алгоритмы обработки информации, основанные на методах идентификации и адаптивного оценивания и методах обработки дискретно-непрерывных процессов для контроля целостности данных приемника СРНС.

#### Литература:

1. Сурков, В. О. Анализ состава навигационных систем для подвижных наземных объектов и принципов их построения / В. О. Сурков // Технические науки: традиции и инновации: материалы II междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2013 г.). — Челябинск: Два комсомольца, 2013. — с. 34–37.
2. Радионавигационный план Рос. Федерации: утв. приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 2 сентября 2008 г. № 118: в редакции приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 31 августа 2011 г. № 1177. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Тихонов, В. И., Харисов В. Н., Смирнов В. А. Оптимальная фильтрация дискретно-непрерывных процессов/ В. И. Тихонов, В. Н. Харисов, В. А. Смирнов.//Радиотехника и электроника. — 1978. — Т. 23, № 7. — с. 1442–1452.
4. Ярлыков, М. С., Смирнов В. А. Нелинейная фильтрация дискретно-непрерывных процессов /М. С. Ярлыков, В. А. Смирнов// Радиотехника и электроника. — 1975. — Т. 20 № 2. — с. 280–287.
5. Иванов, А. В. Обработка сигналов спутниковых радионавигационных систем в навигационно-посадочном комплексе / А. В. Иванов // Радиотехника, 2001, № 10

6. Иванов, А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения/ А. В. Иванов // Радиотехника. — 2010. — № 12.
7. Ярлыков, М. С., Миронов М. А. Марковская теория оценивания случайных процессов. — М.: Радио и связь, 1993. — 464 с.
8. Миронов, М. А. Оптимальный контроль технического состояния радиоэлектронного оборудования в процессе функционирования/М. А. Миронов // Основные вопросы теории и практики надежности — Минск: Наука и техника, 1982, — с. 23–44.

## Формирование облика навигационной системы для подвижного наземного объекта

Сурков Владимир Олегович, аспирант  
Тамбовский государственный технический университет

*Рассматривается формирование облика навигационной системы подвижного наземного объекта, предлагается состав системы с описанием его элементов. В качестве алгоритма обработки информации предлагается использование алгоритма обработки информации позволяющего производить идентификацию и адаптивное оценивание совместно с оцениванием дискретно-непрерывных процессов. Предложения были сделаны на основе анализа соответствующих статей в данной области и изучения существующих разработок, применяющихся на данный момент времени в качестве навигационных систем.*

Расширение функций, возлагаемых на бортовые системы, а также повышение предъявляемых к ним требований обуславливает чрезвычайно высокую трудоемкость задач, связанных с их разработкой. Многообразие физических принципов, на базе которых реализуются системы, огромное количество возможных вариантов построения и вариантов их совершенствования привело к необходимости формирования облика перспективного бортового оборудования различных типов. Так в [1] рассматривается возможный облик навигационного комплекса для надводных кораблей, его состав, структура, особенности и требования, предъявляемые к навигационным комплексам данного вида. В [2] производится обоснование облика навигационной системы беспилотного летательного аппарата с указанием задач решаемых летательным аппаратом. В [3] рассматриваются общие структуры навигационных систем для различных типов объектов. В [4] описаны предложения по формированию облика навигационной системы (НС) подвижного наземного объекта (ПНО), но без подробного описания части элементов и алгоритма обработки информации. Однако предложения по формированию облика навигационной системы для ПНО в литературе не встречаются. Целью статьи является выработка предложений по формированию облика НС ПНО.

В процессе функционирования НС должна обеспечить решение следующих основных задач:

- преобразование координат;
- определение параметров движения объекта;
- комплексная обработка информации;

- коррекция координат местоположения;
- выдача навигационной информации на индикатор и соответствующим потребителям;

Число задач, которые ставятся перед навигационной системой, может изменяться и зависит от типа объекта (летательный аппарат, наземный подвижный объект, морской или космический объект), сферы его применения (военный и гражданский) и соответствующих требований, предъявляемых к навигационной системе.

Облик навигационной системы, например, для подвижного наземного объекта зависит от набора датчиков, которые входят в его состав и от метода обработки полученной информации [5].

НС ПНО строятся по структурной схеме, которая включает:

1. Нерадиотехнические измерители (НРТИ).
2. Радиотехнические измерители (РТИ).
3. Вычислительное устройство.
4. Устройство индикации.

В настоящее время распространен следующий минимальный состав НС ПНО:

1. Бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС);
2. Приемник СРНС;
3. Вычислительное устройство;
4. Устройство индикации.

Для увеличения объема получаемой информации предоставляемой потребителю введем дополнительный измеритель в состав навигационной системы. Данным измерителем будет барометрический высотомер, который



Рис. 1. Наиболее перспективный состав системы навигации для ПНО

позволяет не только определять значения высоты, но и обеспечить контроль целостности данных приемника СРНС [6].

Таким образом, в состав перспективной НС будут входить [7](Рис. 1)

В предлагаемой схеме в качестве основных элементов выступают БИНС и СРНС. БИНС выполняет роль основного НРТИ, позволяющей определить всю необходимую информацию: координаты местоположения, угловую скорость, ускорение, углы ориентации (крен, курс, тангаж).

Приемник СРНС используется как для самостоятельной работы в навигационной системы, так и для коррекции данных от БИНС.

На облик навигационной системы так же влияют применяемые методы обработки информации.

К настоящему времени в навигационных системах применяется комплексирование устройств и систем на уровне вторичной обработки. Под вторичной обработкой информации понимают выполняемую в специализированных вычислителях обработку выходных сигналов измерителей для определения навигационных элементов. Длительное время в радиоэлектронных комплексах для вторичной обработки информации использовались простейшие алгоритмы эвристического происхождения, описанные, например, в [8]. В настоящее время в навигационных системах ПНО широко используются методы оптимальной линейной фильтрации [9–11].

Комплексная вторичная обработка информации дает положительный эффект если соответствующие измери-

тели работоспособны, так как оценить работоспособность соответствующего измерителя возможно лишь при первичной обработке информации.

Первичная обработка информации — это поиск, обнаружение, селекция, преобразование и усиление входных сигналов навигационных измерителей для определения навигационных параметров. Максимального выигрыша при комплексной первичной обработке информации можно достичь, применяя для оптимизации комплексирования измерителей методы марковской теории оптимального оценивания случайных процессов и полей [12,13].

Первичную обработку информации целесообразно использовать применительно к радиотехническим системам. Применение первичной обработки информации позволяет:

- производить оценку состояния радиотехнических систем;
- создать систему индикации отказов радиотехнических систем;
- повысить характеристики точности и помехоустойчивости радиотехнических систем.

Современные системы навигации для ПНО являются в основном комплексными и объединяют в своем составе как радиотехнические, так и нерадотехнические измерители. Анализ [14] показывает, что роль основной радиотехнической системы для систем навигации играет СРНС. Пропадание сигналов данной системы приводит к значительному росту погрешностей при определении необходимых параметров. В данном случае навигационные

системы не могут обеспечить требуемую доступность и целостность данных. Это проиллюстрировано в статье [15], поэтому необходим контроль сигналов СРНС за счет методов первичной обработки информации, который позволит определить факт отсутствия или наличия сигнала на входе приемника СРНС, но не позволит определить достоверность данных от приемника СРНС. При отказе приемника СРНС происходит изменение в работе других измерителей. Например, при отказе приемника СРНС значение составляющей погрешности БИНС, значение которой при исправности БИНС известно и не превышает определенных пределов, может возрастать, что вызывает на отказ приемника СРНС. Для определения достоверности данных необходимо контролировать этот параметр, применяя идентификацию и адаптивное оценивание.

Контролируя достоверность данных от приемника СРНС и наличие сигнала на его входе можно получить полную информацию о его состоянии и определить факт

его неисправности. Эту информацию в дальнейшем можно использовать для реконфигурации системы навигации. Это позволит реализовать возможность навигационной системы приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды и обеспечивать потребителя необходимой навигационной информацией с требуемой доступностью и целостностью. Для этого необходимо синтезировать алгоритм обработки информации, работающий на основе совместного использования методов идентификации и адаптивного оценивания и методов обработки дискретно-непрерывных процессов.

Таким образом, в статье предлагается концепция построения навигационной системы для подвижного наземного объекта и состав системы с описанием его элементов. В качестве алгоритма обработки информации предлагается использование алгоритма обработки информации позволяющего производить идентификацию и адаптивное оценивание совместно с оцениванием дискретно-непрерывных процессов.

#### Литература:

1. Емельянцева, Г. И., Современные требования и облик навигационного комплекса для боевых надводных кораблей начала XXI века / Г.И. Емельянцева, Э.С. Моисеев, А.Н. Солнцев //Навигация и гидрография. — 1995, № 1 — с. 37–42.
2. Востриков, О.В. Обоснование облика навигационной системы ударного беспилотного летательного аппарата / О.В. Востриков// «Труды МАИ» — 2011, № 48.
3. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии/ Под ред. Б. С. Алешина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 424 с.
4. Сурков, В. О. Облик навигационной системы для подвижного наземного объекта и принципы его формирования // Молодой ученый. — 2015. — № 17. — с. 273–276.
5. Иванов, А.В. Навигация наземных объектов / А.В. Иванов, Н.А. Иванова. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. — 120 с.].
6. Иванов, А.В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения / А.В. Иванов // Радиотехника. — 2010, № 12.
7. Сурков В. О. Точности определения местоположения подвижных наземных объектов в сотовых сетях GSM и UMTS / В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 6. — с. 147–150.
8. Бобнев, М. П. Комплексные системы радиоавтоматики / М. П. Бобнев, Б. Х. Кривицкий, М. С. Ярлыков. — М.: Сов. радио, 1968. — 232 с.
9. Браммер, К. Фильтр Калмана — Бьюси / К. Браммер, Г. Зиффлинг. — М.: Наука, 1982
10. Медич Дж., С. Статистически оптимальные линейные оценки и управление: пер. с англ. / С. Медич Дж.; под ред. А. С. Шаталова. — М.: Энергия, 1973. — 340 с.,
11. Сейдж, Э. П. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении: пер. с англ. / Э. П. Сейдж, Дж. Л. Мелса; под ред. Б. Р. Левина. — М.: Связь, 1976. — 496 с
12. Ярлыков, М. С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М. С. Ярлыков, М. А. Миронов. — М.: Радио и связь, 1993. — 464 с.
13. Ярлыков, М. С. Статистическая теория радионавигации / М. С. Ярлыков. — М.: Радио и связь, 1985. — 344 с.
14. Сурков, В. О. Анализ состава существующих систем навигации для подвижных наземных объектов и выбор наиболее перспективного состава, исходя из требований точности и надежности / В. О. Сурков // Современные тенденции технических наук: материалы II междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2013 г.). — Уфа: Лето, 2013. — с. 20–24.
15. Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики/ В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 7. — с. 76–79.

## Будущее и настоящее СБИС

Чепрасова Анастасия Сергеевна, студент;  
Мамелин Юрий Валерьевич, магистрант  
Кубанский государственный университет

*В представленной статье рассмотрен функционал и дальнейшее развитие сверхбольших интегральных микросхем (СБИС). Здесь говорится о классификации СБИС, и об их значимости в современном мире, проанализированы существующие технологии проектирования микросхем. Данная тема была затронута так как шагая в будущее, гаджеты становятся все меньше и меньше, а их мощность в разы превосходит своих предшественников десятью годами ранее. Такая градация возможна только благодаря современным технологиям описанных в статье.*

**Ключевые слова:** микросхема; степень интеграции; программируемая логика; архитектура; фотоповторитель

## Present and future VLSI

Cheprasova Anastasiya Sergeevna, student;  
Mamelyn Yuriy Valeriyevich, student  
Kuban State University

*In the article function and further development of extralarge integral microsystems (EIM) are considered. Classifications and meaning of EIM are taken into account, current technologies of microsystem design are analyzed. Current topic is considered as gadgets become smaller, but their productivity is getting much better than the productivity of their ancestors decade ago. Such gradation is possible only with the technologies mentioned in the article.*

**Key words:** microsystem, degree of integration, programmable logic, architecture, step-and-repeat camera

В настоящее время во многих бытовых, вычислительных и прочих приборах используются интегральные схемы, твердотельные устройства, изготовленные на полупроводниковой подложке (пластине или пленке) и помещенные в неразборный корпус. Такие схемы имеют небольшой размер, но большой функционал. Создание первых полупроводниковых интегральных схем (1958–59) и начало их серийного выпуска (1960–61) определили рождение микроэлектроники.

В наш век, век высоких технологий, интегральные схемы увеличили свой размер и функционал, и чем дальше, тем все сложнее их проектировать, особенно вручную. Необходимо учесть огромное количество связей и переходов с уровня на уровень, именно поэтому автоматизация проектирования ИС стало неотъемлемой составляющей научно-технического прогресса. Проектирование технических объектов без автоматизации требует чрезмерно больших временных и людских ресурсов. Проекты наиболее сложных объектов, к которым прежде всего относятся большие интегральные схемы (БИС), сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) и вычислительные системы, создаются с обязательным использованием систем автоматизированного проектирования [1, с. 152].

Надо отметить, что БИС и СБИС составляют подавляющее большинство интегральных микросхем, однако далеко не все. Существует классификация микросхем по степени интеграции.

В СССР были предложены следующие названия микросхем в зависимости от степени интеграции (указано количество элементов для цифровых схем):

— Малая интегральная схема (МИС) — до 100 элементов в кристалле.

— Средняя интегральная схема (СИС) — до 1000 элементов в кристалле.

— Большая интегральная схема (БИС) — до 10000 элементов в кристалле.

— Сверхбольшая интегральная схема (СБИС) — до 1 миллиона элементов в кристалле.

— Ультрабольшая интегральная схема (УБИС) — до 1 миллиарда элементов в кристалле.

— Гигабольшая интегральная схема (ГБИС) — более 1 миллиарда элементов в кристалле [5, электронный ресурс].

В настоящее время название ГБИС практически не используется (например, последние версии процессоров Pentium 4 содержат пока несколько сотен миллионов транзисторов), и все схемы с числом элементов, превышающим 10000, относят к классу СБИС, считая УБИС его подклассом.

Одним из наиболее используемых элементов СБИС является транзистор на основе структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МОП) Первый транзистор, работающий на эффекте поля, был продемонстрирован в 1960 году. Сначала полевые транзисторы с двуокисью кремния в качестве подзатворного диэлектрика формировались на

подложке *n*- типа проводимости. Затем, из-за большей подвижности электронов, чем у дырок при формировании сверхбольших быстродействующих интегральных схем стали использовать *n*- канальные транзисторы, формируемые на *p*- подложке.

Отечественным производителям электронной техники трудно конкурировать с зарубежными фирмами в области массового производства товаров широкого потребления. Однако в области разработки и создания сложной наукоемкой продукции в России сохранились условия, кадры, научный потенциал. Большое число предприятий и учреждений способно разрабатывать уникальные электронные устройства. Высокотехнологичным «сырьем» для таких разработок в области цифровой электроники служат легко доступные на отечественном рынке электронные компоненты: контроллеры, микропроцессоры, СБИС памяти и тд. — все, что позволяет решать задачи специальной обработки сигналов и вычислений программным путем. Микропроцессорная техника давно и прочно укоренилась в отечественных разработках. Однако в последние годы появилась новая элементная база — СБИС программируемой логики (СБИС ПЛ), которая удачно дополняет и заменяет микропроцессорные средства, в ближайшие годы станет «настоящим материалом» для разработчиков. СБИС ПЛ оказываются вне конкуренции в областях, где требуется создание высокопроизводительных специализированных устройств, ориентированных на аппаратную реализацию. Аппаратное решение задач обеспечивает распараллеливание процесса и увеличивает производительность в десятки раз по сравнению с программным решением, а использование СБИС ПЛ, в отличие от специализированных СБИС, обеспечивает такую же гибкость реализации, как у любых программных решений. В последние годы динамика развития производства СБИС ПЛ уступает только микросхемам памяти и превышает 50% в год.

Производители, архитектура и возможности существующих в настоящее время типов СБИС ПЛ разнообразны. Систематизация микросхем гибкой логики производится обычно по следующим классификационным признакам:

- степень интеграции (логическая емкость);
- архитектура функционального преобразователя;
- организация внутренней структуры СБИС и структуры матрицы соединений функциональных преобразователей;
- тип используемого программируемого элемента;
- наличие внутренней оперативной памяти.

Степень интеграции (логическая емкость) — наиболее важная характеристика СБИС ПЛ, по которой осуществляется выбор. Производители СБИС ПЛ стоят на передовых рубежах электронной технологии (текущая рабочая проектная норма составляет 0,25 мкм), и число транзисторов в СБИС ПЛ большой емкости составляет десятки миллионов. Но ввиду избыточности структур, включающих большое число коммутирующих транзисторов, логическую емкость измеряют в эквивалентных логических вентилях типа 2И-НЕ (2ИЛИ-НЕ), которые понадоби-

лось бы для реализации устройств той же сложности, что и на соответствующих СБИС [2, с. 52].

Помимо сложной внутренней организации элементов, сложности их взаимодействия, существует немаловажная часть создания СБИС — физическое изготовление спроектированной конструкции. Для воплощения в жизнь сверхбольшей интегральной микросхемы используется фото-процесс. Схема формируется на подложке, в большинстве случаев из диоксида кремния, полученного термическим окислением кремния. Ввиду малости размера элементов микросхем, от использования видимого света и даже ближнего ультрафиолета при засветке давно отказались. В качестве характеристики технологического процесса производства микросхем указывают ширину полосы фотоповторителя и, как следствие, размеры транзисторов и прочих элементов на кристалле. Однако, этот параметр находится во взаимосвязи с рядом других производственных возможностей: чистотой получаемого кремния, характеристиками инжекторов, методами вытравливания и напыления.

Микросхемы выпускаются в двух конструктивных вариантах — корпусном и бескорпусном. Бескорпусная микросхема — это полупроводниковый кристалл, предназначенный для монтажа в гибридную микросхему или микросборку. Корпус — это часть конструкции микросхемы, предназначенная для защиты от внешних воздействий и для соединения с внешними электрическими цепями посредством выводов. Корпуса стандартизованы для упрощения технологического процесса изготовления изделий из разных микросхем.

В российских корпусах расстояние между выводами измеряется в миллиметрах и наиболее часто это 2,5 мм или 1,25 мм. У импортных микросхем расстояние измеряют в дюймах, используя величину 1/10 или 1/20 дюйма, что соответствует 2,54 и 1,28 мм. В корпусах до 16 выводов эта разница незначительна, а при больших размерах идентичные корпуса уже несовместимы. В современных импортных корпусах для поверхностного монтажа применяют и метрические размеры: 0,8 мм; 0,65 мм и другие [4].

Технология сверхбольших интегральных схем определяет прогресс в передовых областях науки и техники и является основой для развития высокотехнологичных отраслей отечественной промышленности. Она имеет широкий спектр применений: от бытовой аппаратуры до специализированных устройств оборонной техники. Мировой рынок интегральных схем практически неисчерпаем, что позволит создавать высокорентабельные ориентированные на экспорт производства

В настоящее время основная часть производимых интегральных схем в мире соответствует минимальным рабочим размерам элементов 0,8–1,0 мкм. Ведущие зарубежные фирмы США, Японии и Южной Кореи имеют заводы, выпускающие высокопроизводительные микропроцессоры и ультра большие схемы памяти с минимальными размерами 0,5 мкм.

В Казахстане имеются пилотные линии для производства кремниевых интегральных схем с минимальными

размерами рабочих элементов 0,8–1 мкм. В ближайшее время будет завершено создание производства схем с размерами элементов на уровне 0,5 мкм. Освоение этих линий позволит Казахстану полностью обеспечить внутреннюю потребность кремниевыми схемами отечественного производства сложностью до сотен тысяч транзи-

сторов на кристалле и выйти на мировой рынок [3].

Создание научно-технического задела в области перспективных технологий и устройств микро и нанoeлектро-ника дает возможность модернизировать производство и расширить объем экспорта отечественных электронных компонентов.

Литература:

1. Фонарев, А.А. «Автоматизированное проектирование СБИС на базовых матричных кристаллах» — Москва, 1995 г.
2. Ершова, Н.Ю., Иващенко О.Н., Курсков С.Ю. «Микропроцессоры» — Санкт-Петербург, 2002 г.
3. «Энциклопедия по машиностроению XXL», [Электронный ресурс] — <http://mash-xxl.info/info/335405/> (дата обращения: 13.08.2016)
4. «Большая энциклопедия нефти и газа», [Электронный ресурс] — <http://www.ngpedia.ru/id497828p1.html> (дата обращения: 10.08.2016)
5. «Академик», [Электронный ресурс] — <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1132890> (дата обращения: 8.08.2016)

### Алгоритм для расчета потерь мощности в электрических сетях с учетом несинусоидальности напряжения

Шепелев Александр Олегович, магистрант;  
 Артамонова Елена Юрьевна, магистр  
 Омский государственный технический университет

*В статье рассматривается созданный алгоритм, который может быть использован для разработки программы для расчета потерь мощности с учетом несинусоидальности напряжения. Для разработки программы были использованы реальные данные полученные с помощью анализатора сети в городских сетях.*

**Ключевые слова:** матрица инциденций, потери мощности, высшие гармоники

В настоящее время в электроэнергетике актуальными являются исследования цель которых состоит в расчете и анализе потерь мощности и энергии в электрических сетях с учетом высших гармоник [1, 2]. Поэтому целью данной статьи было создание алгоритма, который позволил бы создать программу для расчета потерь мощности на основе данных получаемых с анализаторов качества электрической сети.

При разработке программы были использованы данные с 6 трансформаторных подстанций (ТП), подключенных к одному фидеру. Программа направлена на определение мощности, рассеиваемой в линиях электропередач, при протекании по ним дополнительных токов высших гармоник. Были получены данные по потребляемым мощностям в течение суток, каждой подстанцией. Данные были проанализированы и аппроксимированы для каждого часа. Суточный график нагрузки каждой подстанции приведены на рис. 1–6.

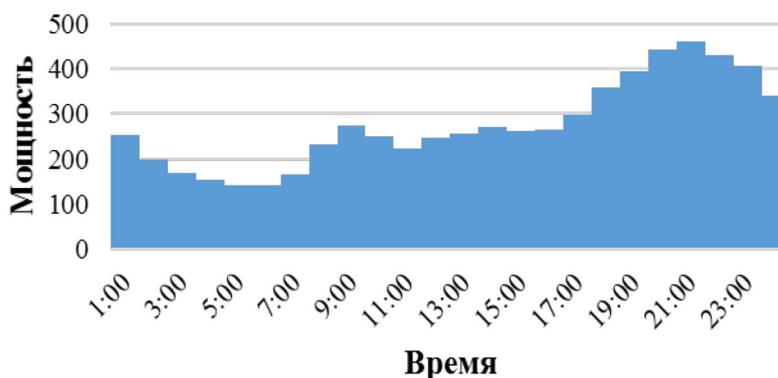


Рис. 1. Мощность, потребляемая ТП 1

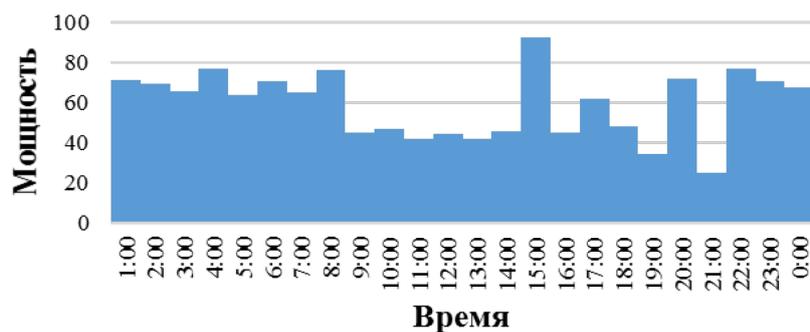


Рис. 2. Мощность, потребляемая ТП 2

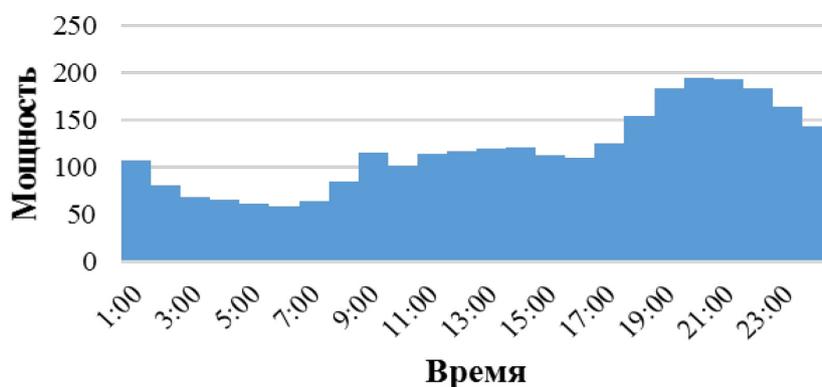


Рис. 3. Мощность, потребляемая ТП 3

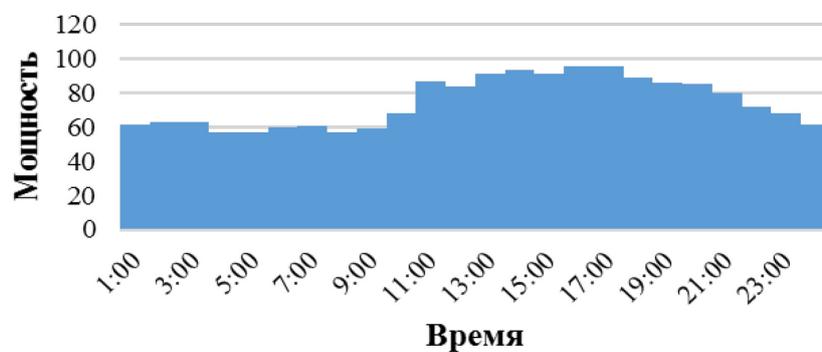


Рис. 4. Мощность, потребляемая ТП 4

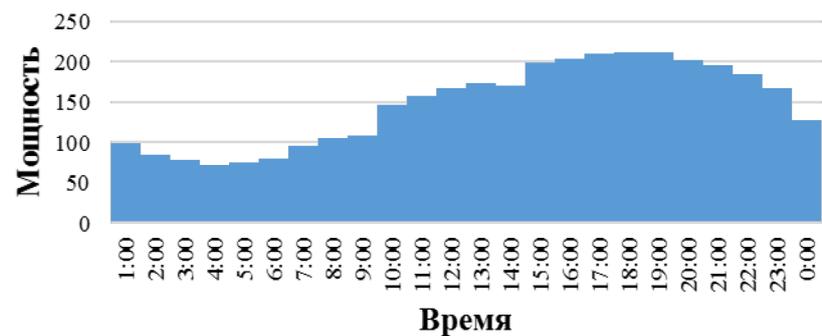


Рис. 5. Мощность, потребляемая ТП 5

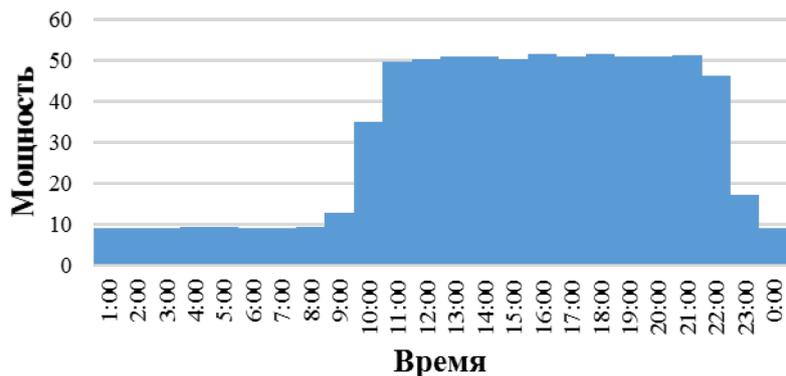


Рис. 6. Мощность, потребляемая ТП 6

Коэффициенты несинусоидальности напряжения на этих подстанциях находятся в допустимых по [3] пределах. Суммарный коэффициент несинусоидальности напряжения представлен на рис. 7.

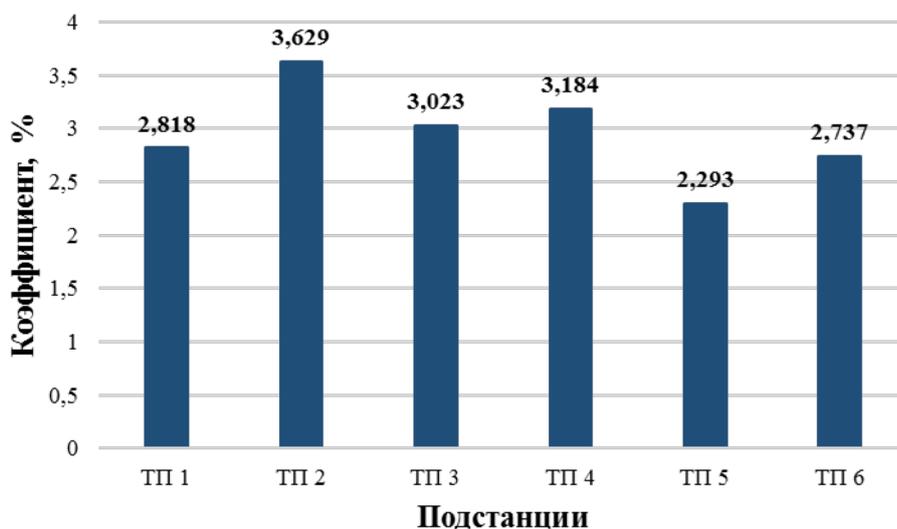


Рис. 7. Суммарный коэффициент несинусоидальности напряжения трансформаторных подстанций

Также были получены данные по коэффициентам высших гармоник тока. Спектры гармонических токов (коэффициентов  $n$ -ой гармонической составляющей тока  $I_{(n)}$ ) приведены на рис. 8–13.

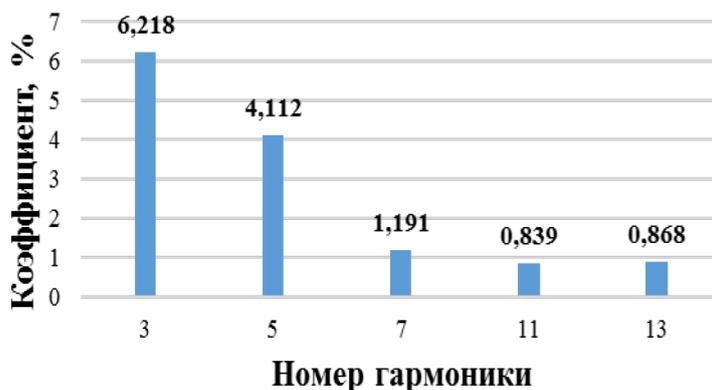


Рис. 8. Спектр гармонических токов ТП 1

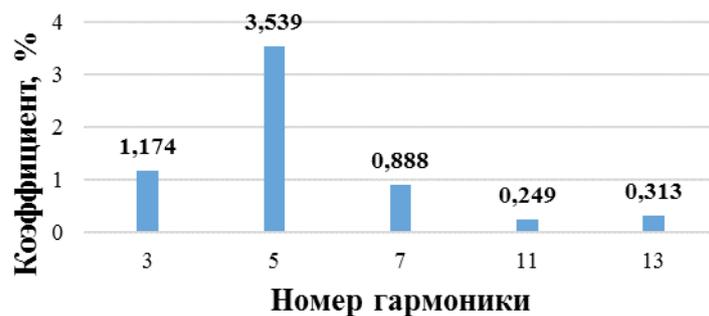


Рис. 9. Спектр гармонических токов ТП 2

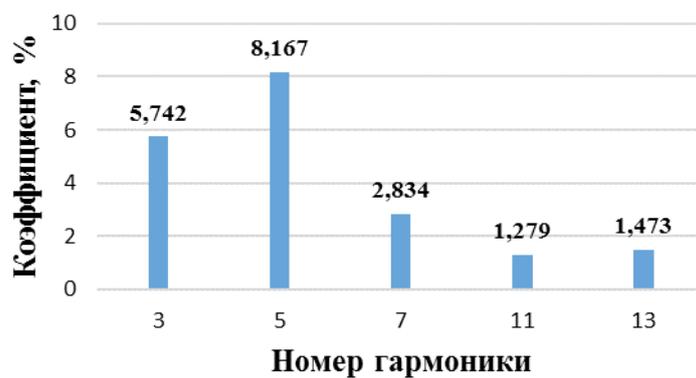


Рис. 10. Спектр гармонических токов ТП 3

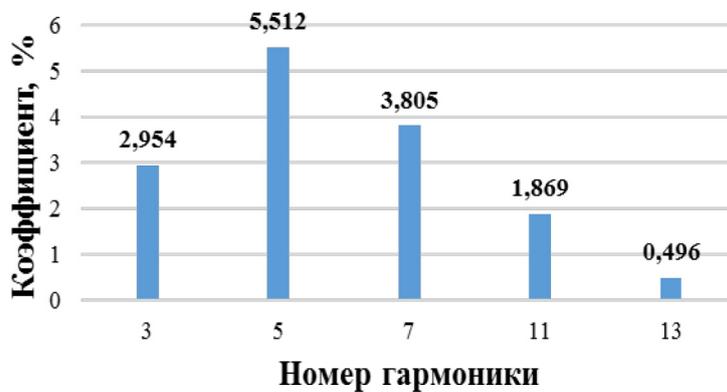


Рис. 11. Спектр гармонических токов ТП 4

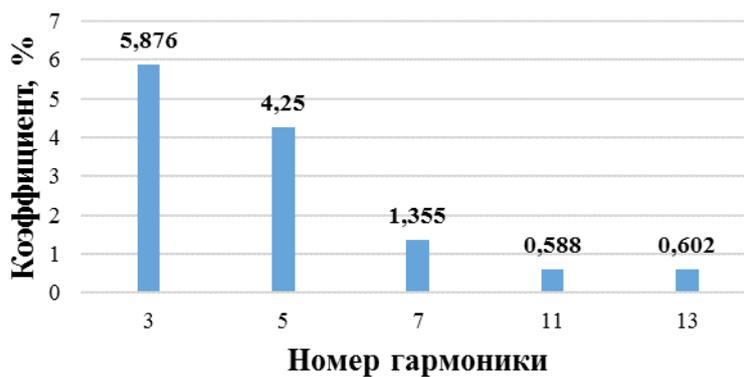


Рис. 12. Спектр гармонических токов ТП 5

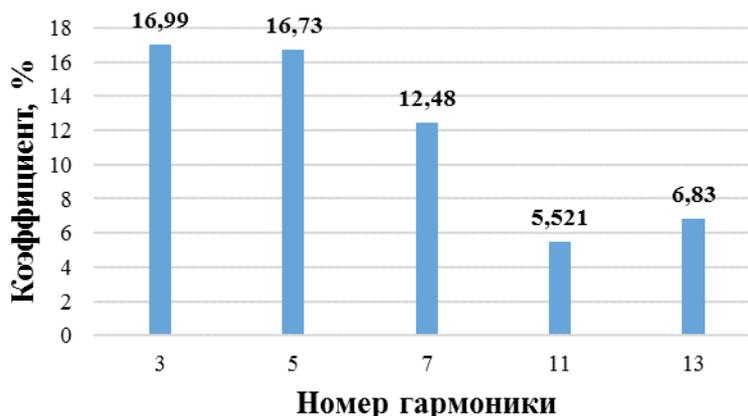


Рис. 13. Спектр гармонических токов ТП 6

Электрическая сеть, на которой была апробирована программа представлена на рис. 14.

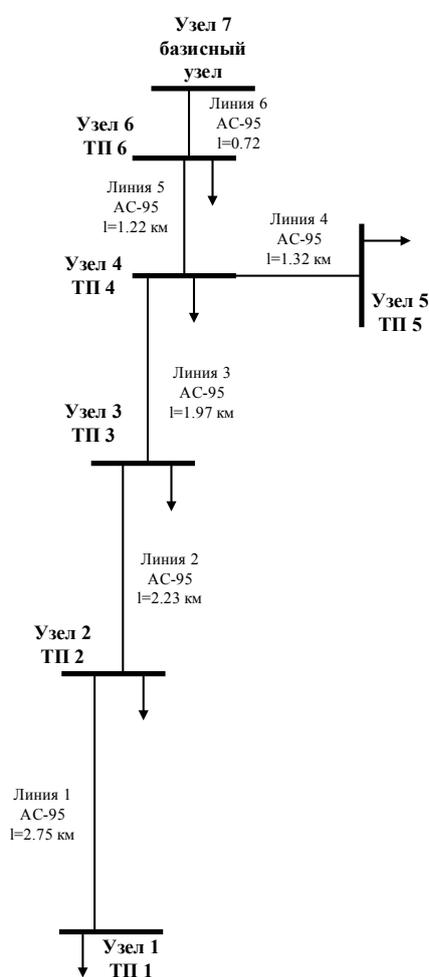


Рис. 14. Схема электрической сети

За базисный узел принята шина понижающей подстанции 35/6 кВ, с учётом, что напряжение на её шинах неизменно.

При разработке программы требуется составить блок-схему алгоритма, по которому будет составлена программа. Блок-схема алгоритма программы расчета потерь мощности с учетом несинусоидальности напряжения представлена на рис. 16.

Для составления программы требуется ввести данные о конфигурации электрической сети, чтобы программа могла обрабатывать эту информацию. Данные описывающие конфигурацию сети представлены ниже, выдержкой из программы Mathcad.

lin :=

|   | 1    | 2 | 3     | 4   | 5 | 6 |
|---|------|---|-------|-----|---|---|
| 1 | 2.75 | 1 | 0.251 | 0.4 | 2 | 1 |
| 2 | 2.23 | 1 | 0.251 | 0.4 | 3 | 2 |
| 3 | 1.97 | 1 | 0.251 | 0.4 | 4 | 3 |
| 4 | 1.32 | 1 | 0.251 | 0.4 | 4 | 5 |
| 5 | 1.22 | 1 | 0.251 | 0.4 | 6 | 4 |
| 6 | 0.72 | 1 | 0.251 | 0.4 | 7 | 6 |

Рис. 15. Параметры рассматриваемой электрической сети

В данной таблице строки соответствуют линиям электропередач, связывающих трансформаторные подстанции. В первом столбце таблицы указываются длины линий. Во втором столбце указываются количество параллельно идущих линий (цепей ЛЭП). В третьем и четвертом столбце указываются удельное активное и реактивное сопротивление проводов данной линии. Пятый и шестой столбец показывают какие узлы (трансформаторные подстанции) соединяет соответствующая линия. Столбец 5 соответствует началу ЛЭП, столбец 6 концу ЛЭП.

Нагрузки данных трансформаторных подстанций заданы в виде токов. Токи гармоник представлены частью канонического ряда ( $n=3, 5, 7, 11, 13$ ). Так как вес гармоник более высокого порядка минимален по отношению к представленным, токи данных гармоник не учитываются. Высшие гармоники тока обычно представляются в виде источников тока, то они будут записаны со знаком «+». Токи, которые потребляет нагрузка представлены со знаком «-». Нагрузочные токи и токи высших гармоник представлены в таблице 1.

Таблица 1. Токи основной и высших гармоник

|      | гармоника |  | 1       | 3     | 5     | 7     | 11    | 13    |
|------|-----------|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | час       |  |         |       |       |       |       |       |
| ТП 1 | 1         |  | -24.824 | 1.933 | 1.248 | 0.42  | 0.302 | 0.238 |
|      | 2         |  | -19.95  | 1.58  | 1.08  | 0.321 | 0.289 | 0.224 |
|      | 3         |  | -17.265 | 1.272 | 0.93  | 0.278 | 0.236 | 0.197 |
|      | 4         |  | -15.669 | 1.074 | 0.907 | 0.274 | 0.197 | 0.166 |
|      | 5         |  | -14.614 | 0.988 | 0.868 | 0.299 | 0.184 | 0.143 |
|      | 6         |  | -14.638 | 0.911 | 0.804 | 0.265 | 0.171 | 0.141 |
|      | 7         |  | -16.713 | 0.979 | 0.818 | 0.255 | 0.175 | 0.147 |
|      | 8         |  | -22.856 | 1.142 | 0.848 | 0.264 | 0.167 | 0.173 |
|      | 9         |  | -26.876 | 1.459 | 0.927 | 0.242 | 0.17  | 0.216 |
|      | 10        |  | -24.604 | 1.362 | 0.874 | 0.141 | 0.142 | 0.191 |
|      | 11        |  | -22.029 | 1.452 | 0.896 | 0.18  | 0.183 | 0.207 |
|      | 12        |  | -24.196 | 1.594 | 0.843 | 0.132 | 0.191 | 0.204 |
|      | 13        |  | -25.016 | 1.567 | 0.854 | 0.209 | 0.171 | 0.21  |
|      | 14        |  | -26.495 | 1.758 | 0.953 | 0.233 | 0.197 | 0.241 |
|      | 15        |  | -25.797 | 1.682 | 1.081 | 0.251 | 0.209 | 0.254 |
|      | 16        |  | -26.087 | 1.722 | 1.103 | 0.21  | 0.22  | 0.276 |
|      | 17        |  | -29.225 | 1.862 | 1.072 | 0.272 | 0.195 | 0.278 |
|      | 18        |  | -34.753 | 1.817 | 0.903 | 0.275 | 0.161 | 0.279 |
|      | 19        |  | -38.237 | 1.872 | 1.031 | 0.294 | 0.182 | 0.278 |
|      | 20        |  | -42.956 | 1.979 | 1.132 | 0.368 | 0.203 | 0.281 |
|      | 21        |  | -44.681 | 2.077 | 1.32  | 0.47  | 0.197 | 0.258 |
|      | 22        |  | -41.717 | 2.105 | 1.449 | 0.582 | 0.244 | 0.26  |
|      | 23        |  | -39.356 | 2.699 | 1.681 | 0.598 | 0.294 | 0.262 |
|      | 24        |  | -33.253 | 2.548 | 1.581 | 0.583 | 0.283 | 0.274 |

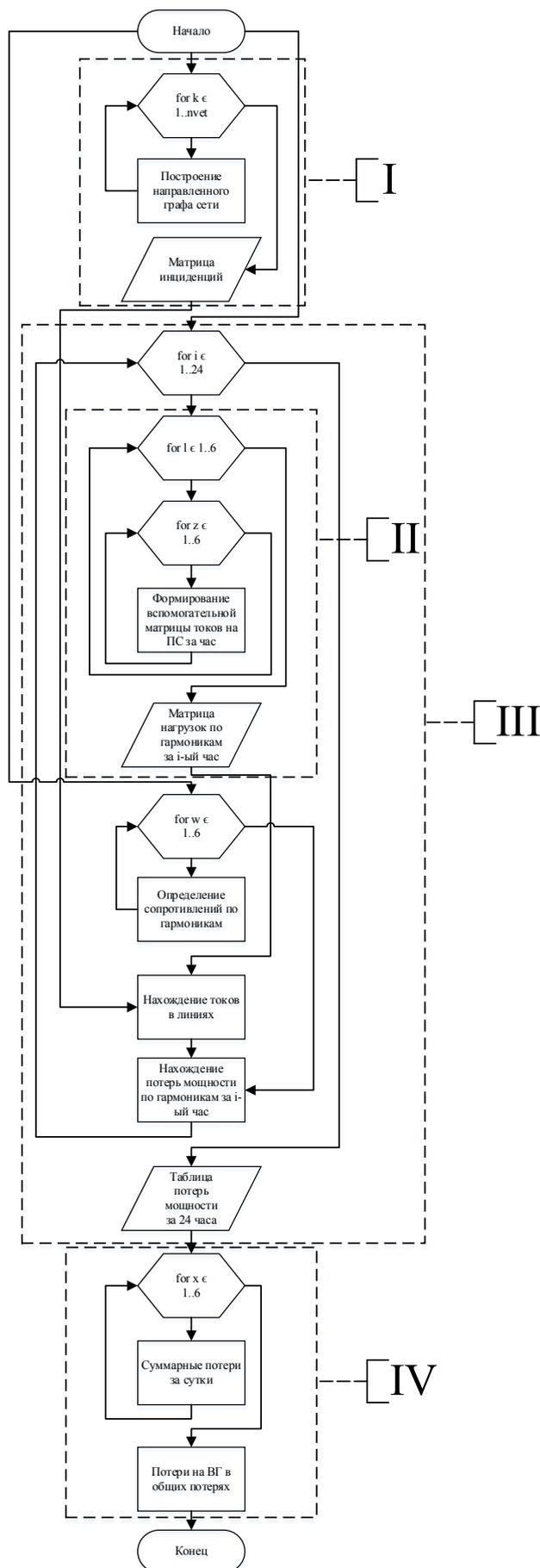


Рис. 16. Блок-схема алгоритма программы расчета потерь мощности при несинусоидальном напряжении

| ТП 2 | 1  | -6.953 | 0.064 | 0.255 | 0.051 | 0.014   | 0.023   |
|------|----|--------|-------|-------|-------|---------|---------|
|      | 2  | -6.723 | 0.049 | 0.247 | 0.045 | 0.013   | 0.02    |
|      | 3  | -6.457 | 0.044 | 0.239 | 0.045 | 0.014   | 0.018   |
|      | 4  | -7.532 | 0.05  | 0.275 | 0.045 | 0.014   | 0.02    |
|      | 5  | -6.331 | 0.053 | 0.242 | 0.043 | 0.016   | 0.021   |
|      | 6  | -6.875 | 0.042 | 0.244 | 0.037 | 0.011   | 0.016   |
|      | 7  | -6.354 | 0.088 | 0.225 | 0.067 | 0.031   | 0.034   |
|      | 8  | -7.437 | 0.073 | 0.27  | 0.045 | 0.017   | 0.019   |
|      | 9  | -4.395 | 0.041 | 0.15  | 0.031 | 0.01    | 0.013   |
|      | 10 | -4.561 | 0.034 | 0.154 | 0.028 | 0.00674 | 0.00734 |
|      | 11 | -4.086 | 0.049 | 0.137 | 0.037 | 0.00928 | 0.013   |
|      | 12 | -4.358 | 0.034 | 0.155 | 0.03  | 0.011   | 0.011   |
|      | 13 | -4.083 | 0.036 | 0.147 | 0.031 | 0.0085  | 0.00668 |
|      | 14 | -4.475 | 0.034 | 0.164 | 0.031 | 0.00732 | 0.00612 |
|      | 15 | -8.967 | 0.075 | 0.334 | 0.066 | 0.01    | 0.012   |
|      | 16 | -4.356 | 0.057 | 0.153 | 0.053 | 0.015   | 0.012   |
|      | 17 | -5.983 | 0.075 | 0.219 | 0.049 | 0.011   | 0.013   |
|      | 18 | -4.677 | 0.111 | 0.158 | 0.092 | 0.026   | 0.031   |
|      | 19 | -3.398 | 0.066 | 0.121 | 0.041 | 0.011   | 0.014   |
|      | 20 | -6.975 | 0.099 | 0.223 | 0.066 | 0.017   | 0.02    |
|      | 21 | -2.418 | 0.078 | 0.069 | 0.057 | 0.015   | 0.019   |
|      | 22 | -7.47  | 0.093 | 0.26  | 0.046 | 0.0057  | 0.015   |
|      | 23 | -6.901 | 0.098 | 0.254 | 0.055 | 0.013   | 0.024   |
|      | 24 | -6.62  | 0.07  | 0.242 | 0.043 | 0.011   | 0.022   |
| ТП 3 | 1  | -11.03 | 0.828 | 1.089 | 0.385 | 0.185   | 0.212   |
|      | 2  | -8.757 | 0.748 | 0.896 | 0.325 | 0.149   | 0.173   |
|      | 3  | -7.489 | 0.507 | 0.726 | 0.266 | 0.119   | 0.141   |
|      | 4  | -7.42  | 0.398 | 0.639 | 0.235 | 0.108   | 0.116   |
|      | 5  | -6.922 | 0.369 | 0.626 | 0.247 | 0.106   | 0.105   |
|      | 6  | -6.703 | 0.332 | 0.565 | 0.215 | 0.099   | 0.091   |
|      | 7  | -7.14  | 0.371 | 0.55  | 0.208 | 0.088   | 0.091   |
|      | 8  | -8.953 | 0.454 | 0.543 | 0.19  | 0.083   | 0.108   |
|      | 9  | -11.63 | 0.473 | 0.584 | 0.244 | 0.064   | 0.154   |
|      | 10 | -10.46 | 0.517 | 0.713 | 0.249 | 0.079   | 0.156   |
|      | 11 | -11.73 | 0.589 | 1     | 0.334 | 0.126   | 0.151   |
|      | 12 | -12.12 | 0.735 | 1.264 | 0.447 | 0.161   | 0.214   |
|      | 13 | -12.44 | 0.903 | 1.409 | 0.495 | 0.212   | 0.24    |
|      | 14 | -12.65 | 0.859 | 1.307 | 0.453 | 0.184   | 0.212   |
|      | 15 | -11.78 | 0.927 | 1.337 | 0.413 | 0.199   | 0.241   |
|      | 16 | -11.35 | 0.945 | 1.217 | 0.395 | 0.175   | 0.247   |
|      | 17 | -12.87 | 0.907 | 1.264 | 0.399 | 0.189   | 0.209   |
|      | 18 | -15.64 | 0.737 | 1.055 | 0.37  | 0.184   | 0.169   |
|      | 19 | -18.37 | 0.69  | 0.941 | 0.305 | 0.185   | 0.129   |
|      | 20 | -19.39 | 0.743 | 1.067 | 0.309 | 0.188   | 0.155   |
|      | 21 | -19.3  | 0.797 | 1.086 | 0.34  | 0.212   | 0.186   |
|      | 22 | -18.28 | 0.941 | 1.076 | 0.335 | 0.216   | 0.183   |
|      | 23 | -16.47 | 0.796 | 0.991 | 0.32  | 0.175   | 0.212   |
|      | 24 | -14.51 | 0.767 | 1.03  | 0.354 | 0.153   | 0.216   |

|      |    |        |       |       |       |       |        |
|------|----|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| ТП 4 | 1  | -6.711 | 0.167 | 0.254 | 0.303 | 0.149 | 0.052  |
|      | 2  | -6.798 | 0.158 | 0.247 | 0.252 | 0.146 | 0.03   |
|      | 3  | -7.001 | 0.158 | 0.257 | 0.194 | 0.138 | 0.012  |
|      | 4  | -6.4   | 0.176 | 0.214 | 0.179 | 0.113 | 0.011  |
|      | 5  | -6.397 | 0.216 | 0.203 | 0.196 | 0.121 | 0.011  |
|      | 6  | -6.652 | 0.192 | 0.22  | 0.189 | 0.116 | 0.012  |
|      | 7  | -6.775 | 0.192 | 0.195 | 0.177 | 0.117 | 0.0099 |
|      | 8  | -6.399 | 0.157 | 0.197 | 0.147 | 0.102 | 0.02   |
|      | 9  | -6.613 | 0.157 | 0.222 | 0.17  | 0.109 | 0.018  |
|      | 10 | -7.261 | 0.222 | 0.42  | 0.298 | 0.156 | 0.02   |
|      | 11 | -8.928 | 0.299 | 0.69  | 0.409 | 0.162 | 0.024  |
|      | 12 | -8.524 | 0.284 | 0.685 | 0.396 | 0.133 | 0.037  |
|      | 13 | -9.291 | 0.302 | 0.802 | 0.387 | 0.164 | 0.038  |
|      | 14 | -9.35  | 0.342 | 0.889 | 0.453 | 0.178 | 0.044  |
|      | 15 | -9.304 | 0.314 | 0.767 | 0.428 | 0.167 | 0.052  |
|      | 16 | -9.574 | 0.362 | 0.961 | 0.439 | 0.22  | 0.04   |
|      | 17 | -9.578 | 0.334 | 0.858 | 0.402 | 0.189 | 0.045  |
|      | 18 | -8.919 | 0.297 | 0.657 | 0.309 | 0.185 | 0.041  |
|      | 19 | -8.727 | 0.251 | 0.632 | 0.295 | 0.184 | 0.044  |
|      | 20 | -8.686 | 0.284 | 0.605 | 0.466 | 0.191 | 0.09   |
|      | 21 | -8.294 | 0.264 | 0.372 | 0.424 | 0.17  | 0.1    |
|      | 22 | -7.574 | 0.185 | 0.236 | 0.281 | 0.118 | 0.071  |
|      | 23 | -7.302 | 0.178 | 0.191 | 0.232 | 0.089 | 0.065  |
|      | 24 | -6.618 | 0.156 | 0.22  | 0.277 | 0.111 | 0.061  |
| ТП 5 | 1  | -9.854 | 0.748 | 0.542 | 0.178 | 0.082 | 0.075  |
|      | 2  | -8.561 | 0.656 | 0.526 | 0.178 | 0.089 | 0.079  |
|      | 3  | -8.033 | 0.567 | 0.492 | 0.169 | 0.09  | 0.068  |
|      | 4  | -7.481 | 0.531 | 0.493 | 0.177 | 0.09  | 0.065  |
|      | 5  | -7.629 | 0.503 | 0.464 | 0.163 | 0.072 | 0.061  |
|      | 6  | -8.155 | 0.485 | 0.431 | 0.154 | 0.061 | 0.063  |
|      | 7  | -9.578 | 0.528 | 0.471 | 0.17  | 0.063 | 0.062  |
|      | 8  | -10.39 | 0.504 | 0.417 | 0.122 | 0.055 | 0.051  |
|      | 9  | -10.71 | 0.527 | 0.414 | 0.136 | 0.064 | 0.067  |
|      | 10 | -14.36 | 0.738 | 0.567 | 0.163 | 0.063 | 0.103  |
|      | 11 | -15.44 | 0.825 | 0.566 | 0.207 | 0.081 | 0.118  |
|      | 12 | -16.27 | 0.848 | 0.562 | 0.204 | 0.075 | 0.102  |
|      | 13 | -16.97 | 0.938 | 0.583 | 0.193 | 0.095 | 0.105  |
|      | 14 | -16.56 | 0.997 | 0.715 | 0.221 | 0.092 | 0.097  |
|      | 15 | -19.34 | 0.973 | 0.624 | 0.201 | 0.087 | 0.096  |
|      | 16 | -19.79 | 1.005 | 0.599 | 0.218 | 0.078 | 0.104  |
|      | 17 | -20.43 | 1.044 | 0.649 | 0.216 | 0.064 | 0.08   |
|      | 18 | -20.58 | 1.152 | 0.674 | 0.214 | 0.055 | 0.085  |
|      | 19 | -20.59 | 1.157 | 0.61  | 0.195 | 0.049 | 0.078  |
|      | 20 | -19.72 | 1.098 | 0.611 | 0.163 | 0.045 | 0.063  |
|      | 21 | -19.15 | 1.006 | 0.593 | 0.169 | 0.052 | 0.075  |
|      | 22 | -17.99 | 1.08  | 0.638 | 0.139 | 0.077 | 0.075  |
|      | 23 | -16.4  | 1.103 | 0.706 | 0.139 | 0.09  | 0.076  |
|      | 24 | -12.64 | 0.827 | 0.626 | 0.15  | 0.094 | 0.075  |

|      |    |        |       |       |       |       |       |
|------|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ТП 6 | 1  | -1.161 | 0.177 | 0.208 | 0.189 | 0.07  | 0.096 |
|      | 2  | -1.157 | 0.178 | 0.214 | 0.192 | 0.073 | 0.103 |
|      | 3  | -1.164 | 0.181 | 0.212 | 0.192 | 0.076 | 0.105 |
|      | 4  | -1.164 | 0.182 | 0.212 | 0.196 | 0.078 | 0.108 |
|      | 5  | -1.161 | 0.154 | 0.203 | 0.194 | 0.075 | 0.108 |
|      | 6  | -1.16  | 0.125 | 0.193 | 0.19  | 0.07  | 0.106 |
|      | 7  | -1.128 | 0.126 | 0.198 | 0.196 | 0.068 | 0.113 |
|      | 8  | -1.133 | 0.124 | 0.194 | 0.188 | 0.065 | 0.105 |
|      | 9  | -1.444 | 0.162 | 0.237 | 0.199 | 0.08  | 0.119 |
|      | 10 | -3.72  | 0.454 | 0.453 | 0.183 | 0.111 | 0.123 |
|      | 11 | -4.617 | 0.628 | 0.536 | 0.158 | 0.128 | 0.094 |
|      | 12 | -4.734 | 0.622 | 0.537 | 0.165 | 0.134 | 0.101 |
|      | 13 | -4.731 | 0.63  | 0.553 | 0.165 | 0.138 | 0.105 |
|      | 14 | -4.754 | 0.632 | 0.545 | 0.169 | 0.135 | 0.103 |
|      | 15 | -4.791 | 0.625 | 0.552 | 0.173 | 0.136 | 0.107 |
|      | 16 | -4.794 | 0.625 | 0.562 | 0.172 | 0.134 | 0.107 |
|      | 17 | -4.8   | 0.631 | 0.563 | 0.173 | 0.136 | 0.1   |
|      | 18 | -4.842 | 0.63  | 0.557 | 0.171 | 0.137 | 0.101 |
|      | 19 | -4.813 | 0.633 | 0.552 | 0.172 | 0.138 | 0.097 |
|      | 20 | -4.774 | 0.637 | 0.564 | 0.167 | 0.141 | 0.1   |
|      | 21 | -4.828 | 0.641 | 0.561 | 0.183 | 0.14  | 0.097 |
|      | 22 | -4.843 | 0.605 | 0.539 | 0.179 | 0.141 | 0.089 |
|      | 23 | -2.012 | 0.254 | 0.295 | 0.21  | 0.103 | 0.101 |
|      | 24 | -1.182 | 0.165 | 0.219 | 0.187 | 0.086 | 0.091 |

В соответствии с блок-схемой алгоритма (часть I, обозначена на рис. 16) в программе Mathcad была получена первая матрица инцидентий. Её определение и результат показаны ниже.

$$\begin{aligned}
 M1 := & \left. \begin{array}{l} \text{for } k \in 1..nvet \\ n1 \leftarrow (\text{lin}^{(5)})_k \\ n2 \leftarrow (\text{lin}^{(6)})_k \\ X_{n1,k} \leftarrow 1 \\ X_{n2,k} \leftarrow -1 \end{array} \right| X \\
 M1 = & \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рис. 17. Листинг с программы Mathcad (определение первой матрицы инцидентий)

Алгоритмы, представленные частями II и III в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 16, позволяют определить потери мощности в данной электрической сети, представленной на рис. 14. Часть алгоритма под номером II позволяет сформировать матрицу токов на каждой подстанции за  $i$ -ый час по всему ряду гармоник. Часть алгоритма под номером III формирует на своем выходе матрицу (таблица 2) потерь мощностей в данной электрической сети за 24 часа, по всем гармоникам. Формирование таблицы и получившиеся значения представлены ниже. В таблице, получившихся

значений, столбцы соответствуют потерям мощности, приходящимся на каждую гармонику за один час. В строках обозначено количество часов в сутках. Полученная мощность представлена в ваттах.

```

power := for i ∈ 1..24
        for l ∈ 1..nps
            for z ∈ 1..cols(n)
                d ← i + (l - 1) · 24
                pl,z ← Ind,z
            for w ∈ 1..cols(n)
                pov⟨w⟩ ← n⟨w⟩
                Rl⟨w⟩ ← Re(Z) · √pov⟨w⟩
                Ilin⟨w⟩ ← M-1 · p⟨w⟩
                ΔS ← 3 · [Ilin⟨w⟩ · Ilin⟨w⟩ · (Rl⟨w⟩)]
                ΔSΣ ← ∑ ΔS
                Oi,w ← ΔSΣ
    O
    
```

Рис. 18. Листинг с программы Mathcad (Алгоритм расчета потерь мощности с учетом высших гармоник)

Таблица 2. Потери мощности в электрической сети за 24 часа, по всем гармоникам

| час \ гармоника | 1         | 3       | 5       | 7      | 11    | 13    |
|-----------------|-----------|---------|---------|--------|-------|-------|
| 1               | 11010.754 | 83.097  | 77.914  | 12.574 | 5.242 | 4.185 |
| 2               | 7786.433  | 58.737  | 59.949  | 8.654  | 4.585 | 3.389 |
| 3               | 6254.566  | 37.269  | 45.826  | 6.414  | 3.319 | 2.464 |
| 4               | 5808.782  | 27.602  | 42.806  | 5.908  | 2.519 | 1.855 |
| 5               | 5005.961  | 24.302  | 38.707  | 6.507  | 2.276 | 1.503 |
| 6               | 5226.745  | 20.477  | 34.043  | 5.287  | 1.933 | 1.336 |
| 7               | 6141.078  | 24.833  | 33.887  | 5.515  | 2.103 | 1.563 |
| 8               | 9670.277  | 30.863  | 35.572  | 4.569  | 1.713 | 1.839 |
| 9               | 11377.034 | 43.353  | 36.486  | 4.889  | 1.666 | 2.872 |
| 10              | 10951.621 | 46.188  | 45.813  | 4.501  | 1.693 | 2.677 |
| 11              | 10489.677 | 56.843  | 62.110  | 7.543  | 2.762 | 2.994 |
| 12              | 11907.181 | 67.776  | 69.888  | 8.033  | 3.038 | 3.551 |
| 13              | 12638.175 | 74.256  | 79.678  | 10.081 | 3.575 | 3.938 |
| 14              | 13592.510 | 85.581  | 88.220  | 10.950 | 3.728 | 4.135 |
| 15              | 15655.950 | 84.163  | 100.897 | 10.840 | 3.996 | 4.869 |
| 16              | 13725.182 | 88.164  | 91.659  | 9.734  | 4.290 | 5.360 |
| 17              | 17018.386 | 96.534  | 93.913  | 10.658 | 3.658 | 4.765 |
| 18              | 20933.234 | 91.222  | 67.713  | 10.056 | 3.195 | 4.596 |
| 19              | 23836.045 | 89.909  | 66.447  | 8.211  | 3.306 | 3.847 |
| 20              | 29994.343 | 99.203  | 81.743  | 11.797 | 3.755 | 4.470 |
| 21              | 28130.182 | 103.674 | 80.184  | 14.544 | 3.787 | 4.531 |
| 22              | 27883.533 | 111.704 | 96.191  | 15.437 | 4.321 | 4.258 |
| 23              | 24004.112 | 146.641 | 107.233 | 15.497 | 4.665 | 4.776 |
| 24              | 17521.221 | 123.490 | 98.574  | 15.899 | 4.314 | 4.987 |

Для нахождения удельного веса потерь мощности, приходящихся на высшие гармоники, в суммарных потерях, в соответствии с частью IV алгоритма, получился следующий результат.

$$\begin{aligned}
 \text{poteri} &:= \left| \begin{array}{l} \text{for } x \in 1 \dots \text{cols}(\text{power}) \\ p^{(x)} \leftarrow \sum \text{power}^{(x)} \\ p \end{array} \right. \\
 \text{poteri} &= (346562.985 \quad 1715.880 \quad 1635.453 \quad 224.098 \quad 79.440 \quad 84.759) \\
 \text{Poter}\Sigma &:= \frac{\sum \text{poteri} - \text{poteri}_{1,1}}{\sum \text{poteri}} = 1.068 \cdot \%
 \end{aligned}$$

Рис. 19. Потери мощности в электрической сети. Удельный вес высших гармоник в суммарных потерях

В результате получается, что суммарные потери мощности в данной электрической сети составляют 350,302 кВт. Среди них потери, приходящиеся на высшие гармоники, составляют 3,739 кВт. Следовательно, потери на высшие гармоники составляют 1,068% от суммарных потерь мощности.

Отсюда можно сделать вывод о том, что потери, возникающие при протекании высших гармоник тока в данной электрической сети, не вносят большой вклад. Однако, при увеличении потребляемой мощности возможно увеличение данного показателя в большую сторону. При росте нелинейных нагрузок потери на высшие гармоники могут оказаться значительными, что может привести к последствиям вызванным некачественной электроэнергией.

Литература:

1. Осипов, Д. С. Расчет потерь энергии в кабельной линии электропередачи при наличии нелинейной нагрузки методом пакетного вейвлет-преобразования / Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселёв // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2016. — № 4 (148). — с. 84–89.
2. Горюнов, В. Н. Расчет потерь мощности от влияния высших гармоник / В. Н. Горюнов, Д. С. Осипов, А. Г. Лютаевич // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2009. — № 2. — с. 268–273.
3. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Стандартинформ, 2014. — 19 с.

## Классификация современных ветроэнергетических установок по мощности

Шепелев Александр Олегович, магистрант;  
 Артамонова Елена Юрьевна, магистр  
 Омский государственный технический университет

В данной статье представлена классификация современных ветроэнергетических установок по мощности и область их применения.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, классификация, мощность

Применение нетрадиционных и альтернативных источников энергии в настоящее время одна из наиболее распространенных задач, как с точки зрения создания энергоресурсов, так и с точки зрения их потребления.

Особенный интерес к таким источникам энергии исходит от населения, находящегося в зонах, отдаленных от центрального электроснабжения, другими словами в зонах без электрификации. Энергию, получаемую при ра-

боте альтернативных источников энергии можно использовать как для постоянного энергоснабжения, так и для резервного энергоснабжения, что особенно удобно для коттеджных поселков, небольших населенных пунктов или стратегических объектов [1].

Россия является одной из стран, обладающих большим энергопотенциалом, в том числе и энергией ветра. Применение энергии ветра в последнее время находит всё большее распространение, как в работах отечественных ученых, так и в разработках зарубежных изобретателей.

Ветрогенераторы — это генераторы электрической энергии, предназначенные для превращения энергии ветра в электрическую. Сегодня ветрогенераторы — высокотехнологичное изделие мощностью от 5 кВт до 4500 кВт единичной мощности. Ветрогенераторы современных конструкций позволяют использовать экономически эффективно энергию даже самых слабых ветров — от 4 ме-

тров в секунду. С помощью ветрогенераторов сегодня можно не только поставлять электроэнергию в «сеть», но и решать задачи электроснабжения локальных или островных объектов любой мощности [2].

На данный момент существует огромное количество ветроэнергетических установок. Условно их можно поделить на ВЭУ с вертикальной (рис. 1) и горизонтальной (рис. 2) осью вращения. ВЭУ с горизонтальной осью получили большое распространение за рубежом в странах с хорошо развитой инфраструктурой (Германия, Дания, Испания). Также ветроэнергетические установки с горизонтальной осью вращения получили большое распространение в оффшорном энергоснабжении (рис. 3). Установки с вертикальной осью постепенно заполняют рынок и широко используются потребителями средней и малой мощности. Наиболее распространенными видами установок с вертикальной осью вращения являются установки с роторами Дарье и роторами типа Савониуса.



Рис. 1. Ветроые установки с вертикальной осью вращения, на основе ротора Дарье, построенные в Австралии в 1980-х годах



Рис. 2. Ветроые установки с горизонтальной осью вращения



Рис. 3. **Оффшорные ветровые установки с горизонтальной осью вращения**

В настоящее время ведутся разработки всё большего количества моделей многофункциональных энергетических комплексов, работающих на основе использования в качестве первичных источников ветроэнергетической,

солнечной или гидроэнергетической установки, или их комбинации (рис. 4), которые могут быть использованы для автономного гарантированного и бесперебойного питания потребителей [3–5].



Рис. 4. **Ветросолнечная электростанция**

Разработка устройств систем автономного энергоснабжения актуальна для малонаселённых территорий с неразвитой инфраструктурой и отсутствием электрификации. Потенциальными потребителями ветроэнер-

гетических установок с целью резервирования энергии являются объекты особой группы электроснабжения, военные части, туристические объекты, малые объекты обслуживающей инфраструктуры, небольшие фермерские

хозяйства. Так же ветроустановка может применяться как дополнительный источник электроэнергии для снижения затрат при питании от сетевых компаний, это актуально при наличии достаточных ветровых условий, а при применении концентратора это практически любые территории с ветрами более 5м/с. Потенциальным потребителем в этом случае являются частные домохозяйства

Согласно ГОСТ Р 51237–98 [6] все ВЭУ классифицируются на 4 класса мощности.

ВЭУ очень малой мощности. Под данный класс попадают все типы ВЭУ мощностью до 5 кВт. Генераторы таких ВЭУ как правило вырабатывают постоянное напряжение. ВЭУ переназначены для электроснабжения отдельных потребителей с использованием аккумуляторных батарей или других видов накопителей энергии. Такие ВЭУ могут работать с другими источниками энергии (солнечными батареями, ДЭС) на шине постоянного напряжения. Монтаж ВЭУ осуществляется бескрановым способом.

Наибольший эффект от использования ВЭУ очень малой мощности можно получить, если их устанавливать на возвышенностях, берегах рек и крупных озер.

ВЭУ малой мощности. Под данный класс попадают все типы ВЭУ мощностью от 5 до 100 кВт. Данные ВЭУ, в зависимости от технического исполнения могут работать на шину постоянного напряжения децентрализованного потребителя, так и на шину переменного напряжения небольшого поселка. Для электроснабжения поселков возможно использовать ВЭУ малой мощности от 30 кВт и более. ВЭУ малой мощности выполняются как с вертикальной, так и с горизонтальной осью вращения. Монтаж ВЭУ осуществляется бескрановым способом.

ВЭУ малой мощности перспективно использовать для электроснабжения удаленных поселков и отдельных потребителей, не имеющих централизованного электроснабжения.

ВЭУ средней мощности. Под данный класс попадают все типы ВЭУ мощностью от 100 до 1000 кВт. В данном классе с большим отрывом преобладают ВЭУ с горизонтальной осью вращения. Данный класс ВЭУ предназначен в основном для работы с децентрализованной системой электроснабжения небольшого поселка, предприятия или военной базой. ВЭУ средней мощности более производительны, чем ВЭУ малой и очень малой мощности. Такие ВЭУ возможно установить в северных населенных пунктах, где имеется существенный энергодефицит. Строительство ветропарков из ВЭУ средней мощности не будет требовать завоза и использования крановой техники, что весьма проблематично в условиях северных территорий нашей страны.

ВЭУ большой мощности. Под данный класс попадают все типы ВЭУ мощностью более 1000 кВт. В данном классе в свободной продаже имеются только ВЭУ с горизонтальной осью вращения. ВЭУ большой мощности имеют высокие башни высотой от 70 до 120 метров. Самая большая ВЭУ в мире «Enercon E-126» имеет мощность 7 МВт и диаметр лопастей 126 метров.

При использовании ВЭУ большой мощности возникает ряд определенных трудностей, связанных с условиями эксплуатации ВЭУ. Ветровые потоки в различных слоях атмосферы имеют различные направления и скорости движения. Особенно это свойственно для континентальной зоны, где завихрения ветрового потока создаются шероховатостями поверхности (лесом, рельефом, возвышенностями и т. д.). Ветроколеса большого диаметра могут сильно терять в производительности по указанной выше причине.

ВЭУ большой мощности мультимегаваттного класса перспективно использовать ВЭУ в прибрежных и оффшорных зонах. Водная гладь не имеет шероховатостей и создаваемый воздушный поток будет достаточно равномерным на всей ометаемой площади.

#### Литература:

1. Бубенчиков, А. А. Выбор оптимального генератора для ветроустановки / А. А. Бубенчиков, Р. А. Дайчман, Е. Ю. Артамонова, Т. В. Бубенчикова, А. А. Гафаров, И. А. Гаилов // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 10 (41) — с. 18–22.
2. Дайчман, Р. А. Выбор ветроустановок для систем автономного электроснабжения // Молодой ученый. — 2015. — № 24. — с. 117–121.
3. Автономная система бесперебойного электроснабжения, использующая возобновляемый источник энергии: пат. 113615 Рос. Федерация: МПК H02J 3/00 / А. Б. Васенин, О. В. Крюков, В. Г. Титов; заявитель и патентообладатель ОАО «Гипрогазцентр». — № 2011138865/07; заявл. 22.09.11; опубл. 20.02.12, Бюл. № 5
4. Система энергоснабжения потребителя на основе комплексного использования классических и возобновляемых источников энергии: пат. 128702 Рос. Федерация: МПК F24H 7/00 F24J 2/00 / А. А. Гуммель, А. Н. Слепченко, Д. В. Батищев; заявитель и патентообладатель ООО СКТБ «Инверсия». — № 2012120399/28; заявл. 16.07.12; опубл. 27.05.13, Бюл. № 15
5. Энергообеспечивающий комплекс на основе альтернативных источников энергии: пат. 113886 Рос. Федерация: МПК H02J 9/06 / А. Ю. Клейман и [др.]; заявитель и патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает ФГУ «Пограничный научно-исследовательский центр ФСБ России». — № 2011136415/06; заявл. 01.09.11; опубл. 27.02.12, Бюл. № 20
6. ГОСТ Р 51237–98. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения.

## Подклассы мощности ветроэнергетических установок

Шепелев Александр Олегович, магистрант;  
Артамонова Елена Юрьевна, магистр  
Омский государственный технический университет

*В данной статье рассматриваются различные диапазоны мощностей ветроэнергетических установок, выделенные исходя из параметров ветроагрегата, условий потребления мощности и монтажа.*

**Ключевые слова:** ветрогенератор, мощность, производители ВЭУ

В настоящее время ветроэнергетика вызывает возрастающий интерес у сторонников альтернативных источников энергии. Это связано с разработками отечественных и зарубежных ученых. В свою очередь правительством России создаются условия для стимулирования развития генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии.

Преобразование кинетической энергии ветра в электрическую осуществляется с помощью ветроэнергетических установок. ВЭУ могут использоваться для различных целей, начиная от заряда аккумуляторных батарей, отопления объектов с помощью ТЭНов и энергосбережения различных объектов до подачи электроэнергии в сети централизованного электроснабжения [1].

Ветрогенератор (рис. 1) состоит из лопасти (пропеллера), ротора турбины (вращающейся части), генератора, оси генератора, инвертора, превращающего переменный ток в постоянный для зарядки батарей, аккумулятора [2].

Генератор — вырабатывает переменный ток, заряжает аккумуляторы.

Лопасты — преобразуют кинетическую энергию ветра во вращение, приводят в движение вал генератора.

Аккумулятор — накапливают электроэнергию для использования в безветренную погоду, выравнивают и стабилизируют выходящее из генератора напряжение.

Инвертор — преобразует постоянный ток в переменный. При вращении ротора создается трёхфазный переменный ток, затем идущий через контроллер на аккумуляторную батарею постоянный ток для его зарядки, далее инвертор, преобразующий ток в стабильно-переменный для подачи на потребителей (освещение, телевизор, радиоприёмник, отопительные батареи и т. д.). Таково схематическое устройство ветряных установок (рис. 2).

Принцип работы любого вида ветрогенератора следующий: вращение вызывает три вида физического воздействия на лопасти винта — импульсную силу и подъёмную, в результате которых начинает приходить в движение маховик, и тормозящую силу. Две силы против одной преодолевают сопротивление и маховик раскручивается, ротор создаёт магнитное поле на неподвижной части генератора. Этого достаточно, чтобы по проводам пошёл электрический ток.

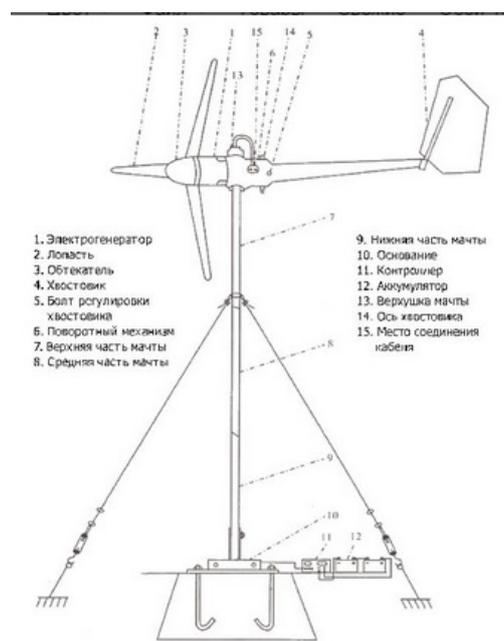


Рис. 1. Состав ветрогенератора

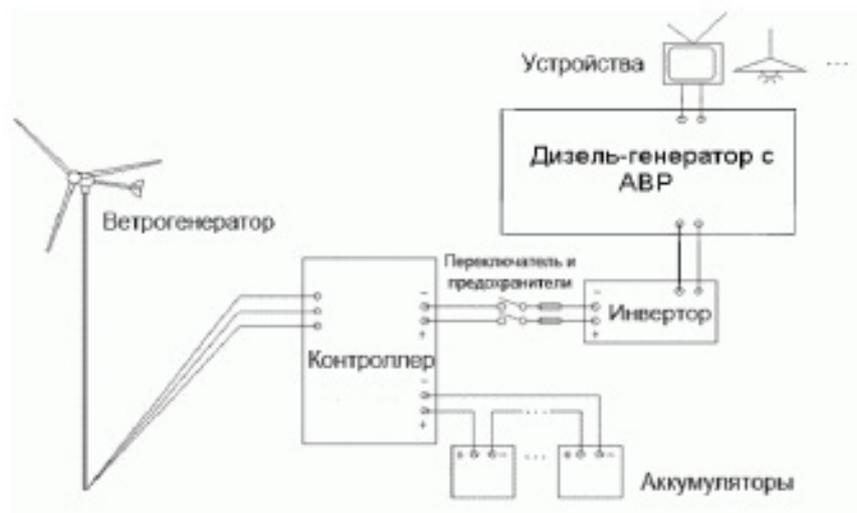


Рис. 2. Схематический чертеж ветрогенератора

Современные производители предлагают ВЭУ широкого диапазона мощностей и различного технического исполнения. Согласно ГОСТР 51237–98 [3] ВЭУ классифицируются на 4 класса мощности. Подклассы характеризуются следующими параметрами: номинальная мощность ВЭУ, габаритные размеры и вес ВЭУ, возможность ВЭУ работать на нужды отдельного потребителя, возможность ВЭУ работать на нужды системы электропитания поселка, возможность бескранового монтажа ВЭУ; возможность бескранового монтажа ВЭУ с применением специализированных подъемных устройств, необходимость использования крановой техники при монтаже ВЭУ.

ВЭУ мощностью 900–1500 кВт. Данные ВЭУ относятся к классам средней и большой мощности. ВЭУ данного класса являются наиболее производительными. Подобные ВЭУ могут быть установлены только в населенных пунктах, где имеется развитая транспортная инфраструктура, способная принимать сорокафутовые контейнеры,

и способная доставить крупногабаритное оборудование до места установки ветропарка. Для монтажа рассматриваемых ВЭУ также требуется крановая техника. Данный подкласс ВЭУ может использоваться только для электропитания поселков или крупных потребителей. В данном подклассе рекомендованными производителями ВЭУ являются «Nordwind Energieanlagen GmbH», «Fuhrlaender AG», «Vergnet Eolien», «Goldwind Science & Creation Windpower Equipment Co. Ltd» и «Suzlon Energy Ltd».

ВЭУ мощностью 100–275 кВт. Данный тип ВЭУ относится к классу ВЭУ средней мощности. Наибольший интерес данные ВЭУ представляют за счет того, что монтаж данных установок производится без использования крановой техники, но с использованием подъемных устройств. Подъемное устройство представляет собой лебедку с дополнительным набором функций. В ВЭУ Vergnet GEV MP 275 (рис. 3) подъемное устройство вмонтировано в гондолу.

Для ВЭУ «Nordwind» (рис. 4) подъемное устройство докупается отдельно. Для ВЭУ «Northern Power 100»



Рис. 3. ВЭУ Vergnet GEV MP 275



Рис. 4. ВЭУ «Nordwind»



Рис. 5. ВЭУ «Northern Power 100»

(рис. 5) может быть использована обычная лебедка. Но данные ВЭУ менее габаритны и имеют меньшую массу по сравнению с предыдущим подклассом и могут транспортироваться в двадцати и сорокафутовых контейнерах.

Для выгрузки оборудования требуется небольшой портовый кран, грузоподъемностью 10–20 тонн. Данный подкласс ВЭУ рассматривается в населенных пунктах с достаточно большим годовым потреблением электрической энергии (более 2000 МВт\*ч/год). В данном подклассе находятся ВЭУ «Nordwind Energieanlagen GmbH», «Vergnet Eolien» и «Northern Power».

ВЭУ мощностью от 30 до 100 кВт. Данные ВЭУ относятся к ВЭУ малой мощности. Их особенность заключается в том, что они достаточно малогабаритны и могут быть смонтированы без использования специализированных подъемных устройств. Для монтажа ВЭУ достаточно обычной лебедки или грузовой машины. Данные ВЭУ ориентированы на производство электрической энергии с параллельно работающими дизельными электрическими станциями или другими источниками электрической энергии. Данный состав оборудования может быть

рекомендован для населенных пунктов с децентрализованным электроснабжением с ежегодным потреблением менее 2000 МВт\*ч/год. В данном подклассе находятся ВЭУ «Northern Power», «ГРЦ-Вертикаль», «Hummer Dynamo», «Endurance windpower».

ВЭУ мощностью до 15 кВт. Данный подкласс ВЭУ мощностью до 15 кВт. Данный подкласс ВЭУ предназначен для электроснабжения отдельных потребителей. Данные ВЭУ относятся к классу ВЭУ малой и очень малой мощности. ВЭУ вырабатывают напряжение в 220 В или 380 В. Они обязательно снабжаются выпрямительными устройствами, инверторами и накопителями электрической энергии (аккумуляторными батареями). Данные ВЭУ не приспособлены к параллельной работе с сетью. Возможно поочередное электроснабжение потребителя от ВЭУ и сети (ДЭС). Потребителю выгодно устанавливать от 1 до 3 подобных ВЭУ. Установки, как правило, крепятся на крышах домов или мачтах. В данном подклассе находятся ВЭУ «ГРЦ-Вертикаль», «Hummer Dynamo», «Endurance windpower», «Сапсан-Энергия».

#### Литература:

1. Бубенчиков, А. А. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности / А. А. Бубенчиков, Р. А. Дайчман, Е. Ю. Артамонова, Л. А. Файфер, Ф. В. Катеров, Т. В. Бубенчикова // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 5 (36). — с. 35–39
2. Для чего вам нужен ветрогенератор? [электронный ресурс] — Режим доступа: <http://altenergiya.ru/veter/dlya-chego-vam-nuzhen-vetrogenerator.html>
3. ГОСТ Р 51237–98. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения.

## Расчет емкости аккумуляторных батарей

Шепелев Александр Олегович, магистрант;  
Артамонова Елена Юрьевна, магистр  
Омский государственный технический университет

*В данной статье приведен расчет емкости аккумуляторных батарей.*

**Ключевые слова:** аккумуляторные батареи, емкость, ветроэнергетика

Применение ветроустановок (ВЭУ) для электроснабжения становится достаточно популярным и перспективным направлением электроэнергетики. Однако, основной фактор, который сдерживает развитие электроснабжения с применением альтернативных источников является их низкая мощность генерации [1].

Достижение нормального режима работы систем автономного питания с применением альтернативных источников энергии возможно только тогда, когда вся произведенная электроэнергия расходуется потребителем. При несовпадении графиков производства и потребления мгновенное использование таких источников не всегда возможно. В связи с этим возникает необходимость в аккумулировании энергии. В настоящее время существует огромное множество аккумуляторных устройств. Всё это большое разнообразие упрощенно можно разделить на механические, гидравлические, и химические. Последние на сегодняшний день особенно распространены в силу своей относительной дешевизны, компактности и простоты в эксплуатации [2].

Механическую энергию запасают в виде потенциальной или кинетической энергии. Обычно, механические аккумуляторы являются устройствами, использующими потенциальную энергию, которая была запасена в пружине (энергия сжатой пружины), груз, поднятый на определенную высоту, или кинетическая энергия вращающегося диска (маховика). Основными недостатками большинства механических аккумуляторов, используемых для большого запаса энергии, являются их громоздкость, значительная материалоемкость, а в ряде случаев низкий КПД. В связи с этими недостатками, как правило, их используют в качестве буферных. Наибольшее распространение среди буферных получил так называемый инерционный аккумулятор, предложенный в 1918 г. известным изобретателем А.Г. Уфимцевым и впервые примененный на ВЭС Д-10, построенный в г. Курске.

По своей сути гидроаккумуляция — это механический способ запаса энергии. В таких устройствах обеспечение аккумуляции энергии, произведенной ветроустановкой, достигается за счет потенциальной энергии массы воды, поднятой на некоторую высоту. Ветроустановки с гидроаккумуляцией обычно выполняются по следующим основным схемам:

1. Вода, поднятая из скважины ветродвигателем во время его работы, запасается в резервуаре или водонапорной башне, а затем расходуется по мере необходи-

мости на питьевые и хозяйственные нужды. В ветрооросительных установках вода подается в естественные или искусственные водоемы, откуда по каналам самотеком поступает на орошаемые или обводняемые участки.

2. Ветроэлектрическая станция работает на нагрузку потребителя, а избыточная энергия расходуется для перекачки воды из нижнего водоема в специальный верхний водоем либо из нижнего бьефа плотины гидростанции в верхний. В периоды безветрия или при недостатке энергии, производимой ВЭС, энергия поднятой воды используется для получения электрической энергии на турбинах ГЭС. Так обеспечивается покрытие части графика нагрузки. В последний период интерес к таким схемам возрос в связи со строительством в нашей стране ряда ГАЭС большой мощности.

3. Ветроэлектрическая станция все время работает на насосные агрегаты, подающие воду из одного бассейна в другой, расположенный выше. На энергии поднятой воды работает ГЭС, обеспечивающая нагрузку потребителей.

4. В зимних условиях насосная ветроустановка работает на подледное нагнетание воды в водоем или же обеспечивает создание наледей, т. е. участков намороженного льда. Это дает возможность не только сократить расходы на сооружение бассейнов, но и использовать соленые воды, избегнув при этом засоления почвы, так как орошение можно вести водой, опресненной путем ее замораживания. Однако КПД наледей относительно невысок, так как имеют место большие потери влаги вследствие испарения, фильтрации воды в почву и других причин.

Электрохимические аккумуляторы — особый класс химических аккумулярующих устройств, нашедших широкое применение в ветроэнергетике. В основном это свинцово-кислотные аккумуляторы (рис. 1), которые сравнительно недороги, имеющие приемлемую долговечность, однако их удельная энергия недостаточна — она не превышает 100 кДж/кг. Но уже сегодня известны аккумуляторы (например серебряно-кадмиевые), имеющие в 4–4.5 раза большую удельную энергоёмкость. Для электрических ветроагрегатов относительно малой мощности (до 5 кВт) применение электрохимических аккумуляторов достаточно эффективно, так как они обладают высоким КПД (70–80%) и, кроме того, обычно не требуют каких-либо дополнительных сложных устройств, за исключением реле напряжения и ограничения зарядного тока, а

три работе агрегата на переменном токе — также соответствующих преобразователей и выпрямителей.

Электрический аккумулятор предназначен для хранения и отдачи электрической энергии. Когда электрические аккумуляторы соединены вместе и образуют группу, то это уже аккумуляторная батарея. В такую группу соединяют одинаковые электрические аккумуляторы одинаковой емкости.



Рис. 1. Свинцово-кислотный аккумулятор

Примером простейшего аккумулирования электроэнергии может служить обычная автомобильная аккумуляторная батарея (рис. 2).



Рис. 2. Автомобильная аккумуляторная батарея

Рассмотрим методику расчета, предложенную в работе [3]:

1. Определить потребляемую мощность объекта в периоды максимального энергопотребления.

Каждый час в течение времени  $T$  потребляется энергия, равная мощности, потребляемой в единицу времени:

$$P_{\text{веч}} = \frac{E_{\text{веч}}}{T} \text{ Вт.} \quad (1)$$

2. Учитывая напряжение постоянного тока регулятора  $U_{\text{РЕГ}}$  и потребляемую мощность  $P_{\text{веч}}$ , можно найти ток потребления  $I_{\text{РЕГ}}$ , по формуле:

$$I_{\text{РЕГ}} = \frac{P_{\text{веч}}}{U_{\text{РЕГ}}}, \text{ А} \quad (2)$$

3. Далее нужно определить общую емкость блока аккумуляторов:

$$C_{\text{АКБ}} = I_{\text{РЕГ}} \cdot T, \text{ А} \cdot \text{час.} \quad (3)$$

Однако это общая емкость блока аккумуляторов, которая должна быть отдана потребителю. Тем не менее, химический аккумулятор не рекомендуется разряжать более чем на 50%. Поэтому величину  $C_{\text{АКБ}}$  необходимо удвоить, чтобы получить реальную емкость  $C_{\text{АКБреал}}$ :

$$C_{\text{АКБреал}} = C_{\text{АКБ}} \cdot 2, \text{ А} \cdot \text{час.} \quad (4)$$

4. Определить емкость единичной аккумуляторной батареи  $C_i$  исходя из того, что общая может быть представлена как сумма емкостей параллельно включенных каскадов последовательно соединенных аккумуляторных батарей можно по формуле:

$$C_{\text{АКБреал}} = C_i \cdot m, \text{ А} \cdot \text{час,} \quad (5)$$

где  $m$  — количество каскадов;  $C_i$  подбирается исходя из емкостного ряда имеющихся на рынке аккумуляторов. Как правило, это ряд представлен емкостями 50, 55, 60, 65, 70, 75, 90, 120, 190, 200, 400 и т. д. Разработчик выбирает наиболее удобный вариант.

5. После проведения расчета необходимо сделать проверку на предмет того, сможет ли ветроэнергетическая установка за предыдущий период зарядить эти аккумуляторы до требуемого уровня.

С этой целью необходимо определить, какое количество энергии должно поступить от ВЭУ за период времени  $T_{i-1}$ , предшествующий исследуемому периоду  $T_i$ . Длительность предшествующего периода  $T_{i-1}$ , и мощность  $P_{\text{мгнВЭУ}}$ , выдаваемую ветроэнергетической установкой на конкретной скорости ветра, можно найти в источнике [3].

Получим энергию  $E_{\text{ВЭУ-Т}}$ , поступившую от ВЭУ за период  $T_{i-1}$ :

$$E_{\text{ВЭУ-Т}} = P_{\text{мгнВЭУ}} \cdot T_{i-1}, \text{ Вт} \cdot \text{час.} \quad (6)$$

Полученная величина подлежит сравнению с потребляемой энергией и должна превышать ее:

$$E_{\text{ВЭУ-Т}} \geq E_{\text{веч}} \quad (7)$$

6. По условию (7), становится возможным сделать вывод о применимости аккумуляторных батарей для исследуемого объекта. При получении неудовлетворительного результата необходимо произвести соответствующие пересчеты. Например, увеличить мощность и/или количество ВЭУ, снизить энергопотребление и т. д.

Литература:

1. Бубенчиков, А. А. Анализ генераторов для систем автономного электроснабжения / А. А. Бубенчиков, Р. А. Дайчман, Е. Ю. Артамонова // Научный аспект. — 2015. — № 4. — с. 201–208.
2. Бубенчиков, А. А. Выбор аккумуляторных батарей для систем автономного питания / А. А. Бубенчиков, Р. А. Дайчман, Е. Ю. Артамонова // Научный аспект. — 2015. — № 4. — с. 208–215.
3. Кирпичникова, И. М. Ветроэнергетические установки. Расчет параметров компонентов: учебное пособие / И. М. Кирпичникова, Е. В. Соломин. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. — 2013. — 83 с.

## Гибридные солнечные коллекторы

Шульга Кирилл Сергеевич, ассистент;  
 Астапова Юлия Олеговна, ассистент;  
 Астапов Алексей Евгеньевич, магистрант  
 Омский государственный технический университет

В настоящее время наблюдается рост потребления энергии, в то же время происходит повышение цен на электроэнергию и уменьшаются запасы традиционных ресурсов. В связи с этим становятся актуальными разработки в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Солнечная энергия является одним из перспективных и активно развивающихся видов ВИЭ.

У применения солнечных панелей и коллекторов много достоинств:

- использование неисчерпаемого возобновляемого источника энергии
- отсутствие выбросов в окружающую среду загрязняющих веществ;
- возможность установки практически в любом удобном месте;
- солнечные панели позволяют обеспечить энергией отдаленные от энергосети районы.

Однако есть и ряд недостатков:

- зависимость от широты, погоды, сезона и времени суток (несовпадение периодов выработки энергии и потребности в энергии);
- как следствие, необходимость аккумуляции энергии;

— при промышленном производстве — необходимость дублирования солнечных ЭС маневренными ЭС сопоставимой мощности;

- высокая стоимость конструкции;
- загрязнение солнечных батарей пылью, снегом, инеем.

В России наиболее перспективен для развития солнечной энергетики юг Европейской части страны, особенно Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская, Волгоградская и Астраханская области, Дагестан и Калмыкия. [1]

Для преобразования солнечной энергии в постоянный электрический ток применяются солнечную батарею (солнечная панель, PV), работа которой основывается на фотоэлектрическом эффекте.

Устройством для преобразования солнечной энергии в тепловую является солнечный коллектор (Т), который собирает тепловую энергию солнца и нагревает теплоноситель. Далее это тепло может быть использовано для отопления, горячего водоснабжения, сушки сельскохозяйственной продукции, для выработки электроэнергии (пар для вращающихся турбин) и т. д.

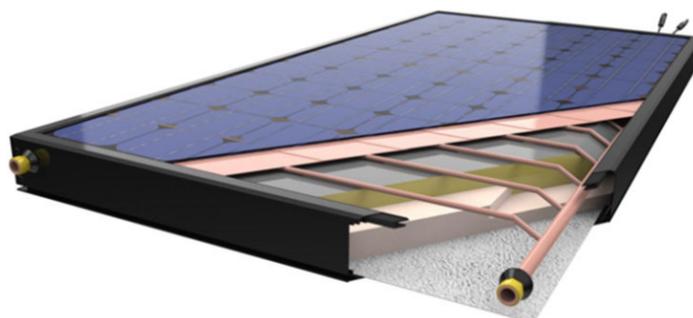


Рис. 1. Гибридный солнечный коллектор. [2]

Существует также гибридный солнечный коллектор (PV/T панель), позволяющий вырабатывать тепловую и электрическую энергию одновременно.

У такого устройства под PV панелью устанавливается солнечный коллектор (Рис. 1). Таким образом, уменьшается площадь установки при необходимости одновременной выработки тепла и электричества. К тому же повышается эффективность фотоэлементов солнечной панели.

При нагревании фотоэлементов солнечной панели свыше  $25^{\circ}\text{C}$  (для кремния) снижается вырабатываемая электрическая мощность на 0,4 % на каждый градус. [3] В гибридной системе теплоноситель коллектора отводит это тепло, охлаждая солнечную панель. Отведенное коллектором тепло далее применяется, например, для нагрева воды в системе горячего водоснабжения.

Т. е. та часть энергии, которая раньше терялась и снижала производительность солнечной панели, в гибридной системе используется.

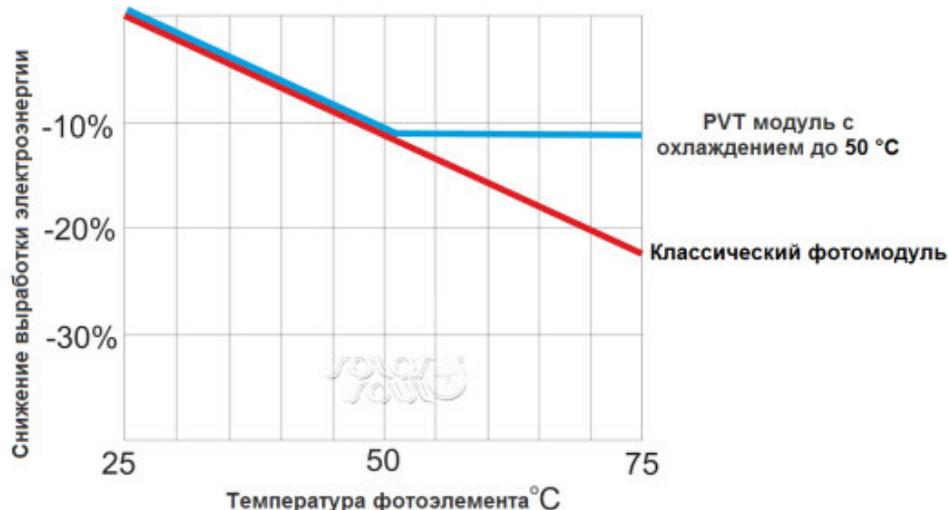


Рис. 2. Зависимость снижения выработки электроэнергии от температуры фотоэлемента. [2]

В летнее время наблюдается резкое снижение производительности электроэнергии, вызванное превышением порога температуры ( $50^{\circ}\text{C}$ ) на поверхности фотоэлемента. Теплоноситель способен охлаждать и поддерживать температуру на поверхности абсорбера до  $50^{\circ}\text{C}$ . [2] При такой конструкции возможно увеличить выработку электроэнергии на 15% по сравнению с обычными солнечными.

Но на практике не всегда удается добиться максимальной эффективности гибридного солнечного коллектора. [2]

В основном это связано с тем что в летний период температура теплоносителя не должна превышать  $50^{\circ}\text{C}$ , поэтому работа таких систем для горячего водоснабжения весьма ограничена. [2] По сравнению с обычными солнечными батареями, при отсутствии циркуляции теплоносителя, температура на поверхности фотоэлемента повышается значительно больше, что вызвано дополнительной изоляцией. Тепловая производительность гибридных PV/T модулей значительно меньше по сравнению с классическими солнечными коллекторами, так как в них не используются высокоселективное покрытие.

Приведем некоторые из гибридных солнечных коллекторов, имеющих в продаже:

— POWERVOLT W 200/500 (PV=200W, Thermo=500W). Соотношения вырабатываемой тепловой энергии к электрической составляет 2,5:1 соответственно.

— POWERTHERM M 180/750 (PV=180W, Thermo=750W). Соотношение вырабатываемой тепловой энергии к электрической составляет 4:1 соответственно.

— ATMOSFERA F2PV. Общая мощность коллектора\* 1337 Вт, тепловая мощность\* 1037 Вт, электрическая мощность\* 300 Вт. (\* При мощности солнечной инсоляции  $1000\text{Вт}/\text{м}^2$  и разнице температуры абсорбера и окружающей среды равной  $0^{\circ}\text{C}$ ) [4]

В апреле 2013 г. фирма SunDrum, установившая PV/T систему на одном из домов в штате Массачусетс, добилась 86% КПД в пиковые часы. Это рекорд для системы PV/T с фиксированным (неотслеживающим) креплением. [5] Тепловые испытания SunDrum показывают, что гибридные панели примерно на  $40^{\circ}\text{F}$  ( $22^{\circ}\text{C}$ ) холоднее, чем стандартные фотоэлектрические панели. Как видно на графике (рис<sup>3</sup>), это приводит лишь к незначительному увеличению производства электричества, но почти в три раза увеличивается общая полезная энергия, которую производит система, в результате чего общая эффективность системы составляет около 70% без увеличения площади. [5]

Фирма SunDrum утверждает, что гибридная система PV/T окупается за 5–10 лет, что чуть дольше, чем классический солнечный коллектор (без PV), и немного быстрее, чем солнечная панель (система PV). [5]

Еще в одном опыте, разработанная PV/T установка монтировалась на жилом доме FOLD в двух городах: Копенгагене и Мадриде.

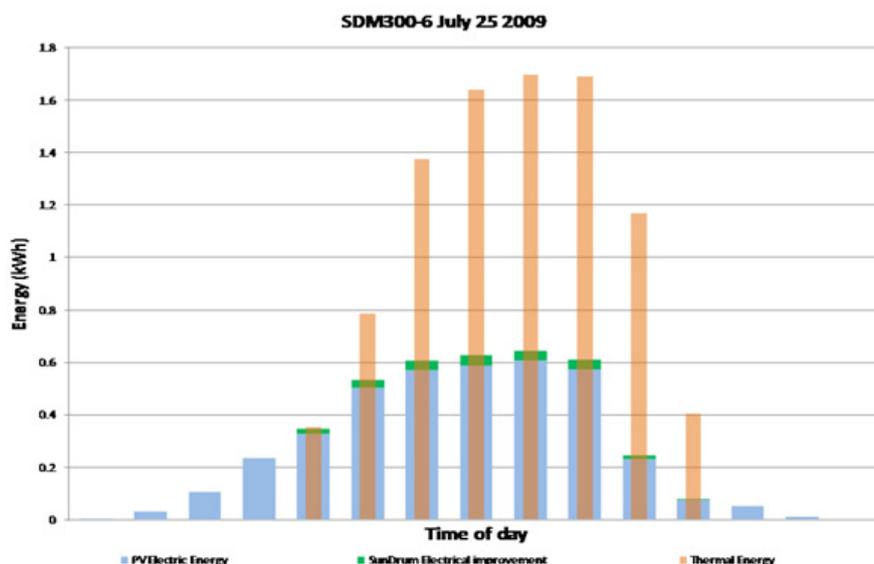


Рис. 3. Общее энергетическое преимущество SunDrum [5]

Таблица 1. Сравнение КПД систем PV/T, PV и T

| Показатель                          | Гибридный солнечный коллектор (PV/T) | Фотоэлектрический модуль (PV) | Жидкостный солнечный коллектор (T) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Площадь поверхности, м <sup>2</sup> | 67,76                                | 67,76                         | 67,76                              |
| КПД годовой, %                      | 15,34 + 36,60                        | 13,59                         | 42,80                              |

Максимальный КПД жидкостного солнечного коллектора в составе установки составил 48% при выключенных фотоэлектрических преобразователях. При одновременном производстве электрической и тепловой энергии его значение снизилось до 42%.

Общий КПД увеличился на 2,6% для Копенгагена и на 3,3% для Мадрида. Срок окупаемости составил примерно 15 лет. [6]

Анализируя оба опыта применения гибридных солнечных коллекторов можно сделать следующий вывод: в гибридном солнечном коллекторе КПД солнечной ба-

тарей незначительно повышается за счет ее охлаждения коллектором, однако КПД самого коллектора снижается (по сравнению с обычными солнечным коллектором и солнечной панелью). Общий КПД всей PV/T системы выше чем при совместном применении солнечного коллектора и солнечной панели. К тому же гибридные PV/T занимают меньшую площадь.

Таким образом, при правильном применении гибридных солнечных коллекторов PV/T система позволяет добиться хороших результатов.

Литература:

1. Вопросы и ответы о возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.gushydro.ru/>
2. Гибридные солнечные коллекторы PVT [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://solarsoul.net/>
3. Фотоэлектрические модули [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://solarmir.ru/>
4. Гибридные солнечные коллекторы [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.atmosfera.ua/>
5. Photovoltaic Thermal System Achieves 86% Efficiency [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.engineering.com/>
6. Гибридный солнечный коллектор [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://zvt.abok.ru/>

# Молодой ученый

Международный научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 17 (121) / 2016

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.  
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)  
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 26.09.2016. Тираж 500 экз.

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