

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2018

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 3

Рязань
Book Jet
2018

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2018; Рязань. – 164 с.,: ил.

Сборник включает труды участников Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0293-7

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2018
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2018

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018

Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018 состоялся 28.02.2018-02.03.2018 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018 состоялись четыре Международные научно-технические конференции:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и наноэлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Современные методы обработки данных;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Системы автоматизированного проектирования;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;

• Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

• Проблемы рынка: экономика и управление;

• Актуальные проблемы государственного, муниципального и корпоративного управления;

- Менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Управление персоналом;
- Экономическая безопасность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования;
- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Гуманитарная подготовка студентов;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Технологии обучения и воспитания на военной кафедре.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., И.О. ректора, д.ф.-м.н., проф. – председатель

Гусев С.И., проректор по научной работе, д.т.н., проф. – зам. председателя;

Бухенский К.В., проректор по учебной работе, к.ф.-м.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. директора института магистратуры и аспирантуры, к.т.н, доц. – координатор;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

Трубицына С.Г., вед. инженер – секретарь оргкомитета;

Благодарова И.А., ведущий программист – секретарь оргкомитета;

члены оргкомитета:

Бабаян П.В., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Витязев В.В., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники»;

Евдокимова Е.Н., д.э.н., проф., декан Инженерно-экономического факультета;

Еремеев В.В., д.т.н., проф., директор НИИ «Фотон»;

Есенина Н.Е., к.п.н., доц., заведующая кафедрой Иностранных языков;

Жулев В.И., д.т.н., проф., заведующий кафедрой "Информационно-измерительная и биомедицинская техника";

Иваненко Р.В., полковник, начальник Военной кафедры;

Кириллов С.Н., д.т.н., проф., заведующий кафедрой "Радиоуправление и связь";

Клейносова Н.П., к.п.н., доц., директор Центра дистанционного обучения;

Клочко В.К., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Коваленко В.В., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Химическая технология»;

Корячко В.П., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования вычислительных средств»;

Костров Б.В., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Электронные вычислительные машины»;

Кошелев В.И., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Радиотехнические системы»;

Лукьянова Г.С., к. ф.-м.н., доцент кафедры «Высшая математика»;

Паршин Ю.Н., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Радиотехнические устройства»;

Круглов С.А., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Промышленная электроника»;

Мусолин А.К., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Автоматизация информационных и технологических процессов»;

Перфильев С.В., д.э.н., проф., заведующий кафедрой «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Овечкин Г.В., д.т.н., профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика»;

Пржегорлинский В.Н., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Информационная безопасность»;

Пылькин А.Н., д.т.н., проф., декан факультета Вычислительной техники, заведующий кафедрой «Вычислительная и прикладная математика»;

Серебряков А.Е., к.т.н., зам. заведующего кафедрой «Электронные приборы»;

Соколов А.С., д.и.н., заведующий кафедрой «Истории, философии и права»;

Таганов А.И., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Космические технологии»;

Федорова Л.А., д.э.н., профессор кафедры «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Холомина Т.А., д.ф.-м.н., проф., заведующая кафедрой «Микро- и нанoeлектроника»;

Чеглакова С.Г., д.э.н, проф., заведующая кафедрой «Экономическая безопасность, анализ и учет».

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

СЕКЦИЯ «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»

УДК 621.931; 621.396

ПЕРЕДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БПЛА НА ОСНОВЕ ПРЯМОЙ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НЕСУЩЕЙ

Т. Шестакова, Г. Сорокин

*Технический Университет Молдовы,
Республика Молдова, Кишинёв, ger_sor@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены принципы построения и структурно – схемотехнические решения передающего устройства на основе прямой цифровой модуляции несущего колебания. Разработана структурная схема передающего устройства фазо – манипулированных сигналов в С – диапазоне. Полученные результаты были подтверждены итогами проведенного моделирования тепловых режимов разработанного устройства с помощью программы «HyperLynx».

Ключевые слова. Прямая цифровая модуляция, «six-port» архитектура, прямая цифровая манипуляция несущей, модулятор.

TRANSMITTER FOR UAV BASED ON DIRECT DIGITAL CARRIER MODULATION

T. Shestakova, G. Sorokin

*Technical University of Moldova,
Republic of Moldova, Chisinau, ger_sor@mail.ru*

Abstract. In the work were considered the principles of construction and structural - circuit solutions of the transmitting device on the basis of direct digital modulation of the carrier oscillation. The structural diagram of the transmitting device of phase - manipulated signals in the C - range is worked out. The elaborated solution has been confirmed by the results of simulation of thermal modes of the developed device with the help of the program "HyperLynx"

Keywords. direct digital carrier modulation, "six-port" architecture, direct digital phase shifter, modulator.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и их комплексы находят широкое применение в сферах, как военного, так и гражданского назначения. Особое внимание в последние годы уделяют легким беспилотным летательным аппаратам (ЛБПЛА).

Они используются для получения информации о лесных пожарах, обнаружения и исследования объектов с вредными выбросами, мониторинга транспортного движения, контроля состояния нефте- и газопроводов и т. п., при этом на них устанавливается видео аппаратура и специальные сенсоры для обнаружения электромагнитного и теплового излучений.

Очевидно, что эту информацию необходимо передавать на соответствующие приемные устройства. Поэтому разработке малогабаритных передающих устройств уделяется значительное внимание. Ограничение диапазона частот снизу определяется экранирующим действием ионосферы, а сверху – поглощением в тропосфере. Эти два фактора предопределили диапазон рабочих частот от 40 МГц до 40 ГГц. В настоящее время наибольшее использование находит диапазон 1...12 ГГц, который широко используется в спутниковых и мобильных линиях связи, в радиолиниях управления полетами беспилотных летательных аппаратах

военного и гражданского применения. Это связано с тем, что с уменьшением длины волны уменьшаются массо-габаритные параметры самой приемопередающей аппаратуры, а также антенно-фидерных систем, что особенно важно для ЛБПЛА.

Основная часть

С целью уменьшения энергопотребления и габаритных размеров передающих устройств ЛБПЛА последние все чаще проектируются по схемам с прямой цифровой модуляцией несущей (direct digital carrier modulation - DDCM). Стоит отметить, что под DDCM понимают не конкретную технологию, а принцип формирования модулированного сигнала. В DDCM передаваемая цифровая информация непосредственно используется при модуляции сигнала на несущей частоте.

Достигается это может воздействием потока цифровых данных на устройство формирования несущей радиочастоты, или же модулированный сигнал генерируется на несущей частоте полностью в цифровом виде и потом преобразуется с помощью быстродействующего ЦАП [1-6].

Преимущества прямого цифрового синтеза (DDS - Direct Digital Synthesis) – это высокое разрешение по частоте и фазе, быстрый переход на другую частоту (фазу), перестройка по частоте без разрыва фазы, выбросов и пр. В то же время с процессами дискретизации и цифро-аналогового преобразования, которые имеют место в DDS, связаны и некоторые ограничения. Во-первых, максимальная частота выходного сигнала не может быть выше половины тактовой (частоты опорного генератора). Это ограничивает область применения DDS синтезаторов на уровне сотен мегагерц. Однако последние разработки фирмы Analog Devices показывают, что тактовая частота последних микросхем этого класса составляет единицы гигагерц, что позволяет увеличить выходную частоту синтезатора. Во-вторых, спектральная чистота выходного сигнала зависит от качества используемого цифроаналогового преобразователя. Поскольку DDS – система - это дискретная система данных, то и выход её является дискретным сигналом. Поэтому должны рассматриваться все составляющие, вовлеченные в осуществление выборки: шум квантования, эффект наложения, фильтрация и т.п. В некоторых случаях побочные составляющие на выходе синтезатора могут быть значительными. В-третьих, имеет место довольно высокое энергопотребление вследствие применения цифровых микросхем, особенно при увеличении тактовой частоты, но это может быть критично лишь для устройств с батарейным питанием. Несмотря на вышеперечисленные особенности, совершенствование и применение синтезаторов прямого цифрового синтеза в аппаратуре бытового и специального назначения видится экономически оправданным и перспективным направлением.

В результате прямого цифрового синтеза становятся ненужными многие аналоговые компоненты передающего тракта (смеситель, тракт промежуточной частоты (ПЧ), модулятор и в некоторых случаях выходной усилитель мощности). Передающий тракт становится более стабильным, компактным, экономичным и дешевым. Возможности формировать любые виды модуляции становятся практически безграничными, их сдерживает только вычислительная мощность цифровой части. Улучшается линейность, а в выходном спектре нет паразитных сигналов гетеродина.

В качестве устройства, которое можно использовать для формирования манипулированных сигналов в основной полосе частот, в [3] используется понятие «six-port».

С помощью «six-port» архитектуры стало возможным применение прямой, фазовой манипуляции несущей (direct digital phase shifter), а отсутствие нелинейных элементов позволило расширить диапазон применяемых частот вплоть до миллиметрового диапазона волн. Схема прямого QPSK-модулятора, использующего «six-port» архитектуру имеет следующий вид (рис. 1).

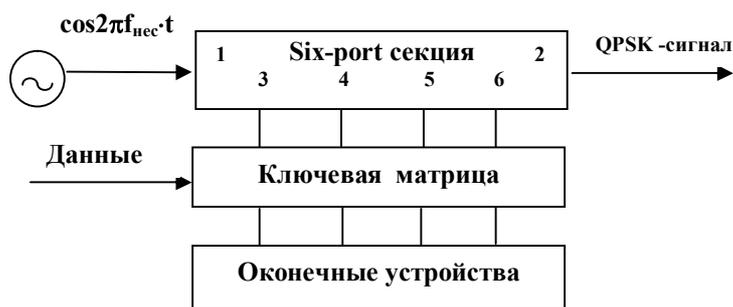


Рис. 1. QPSK-модулятор на базе «six-port» секции

Модулятор содержит «six-port» секцию, ключевую матрицу и оконечные устройства (фазовращатели), которые могут находиться в двух состояниях – разомкнутом и замкнутом. Принцип работы устройства следующий: сигнал от генератора несущей поступает на «1» вход «six-port» секции и через 3, 4, 5 и 6 входы поступает на различные оконечные устройства (фазовращатели) через ключевую матрицу, которая управляется входными двоичными последовательностями. Сигналы, прошедшие через соответствующие фазовращатели, суммируются и поступают на выход «2» «six-port» секции, формируя на выходе фазо-манипулированный сигнал.

Согласно структуре «six-port» цепи, передаточная функция модулятора между «1» и «2» портами может быть представлена в следующем виде:

$$H(f) = 0,707 \exp[-j(\varphi_1 + 3\varphi_2 + 2\theta + 45^\circ + i90^\circ)], \quad (1.1)$$

где $i = 0, 1, 2, 3$;

φ_1, φ_2 и θ - фазовые сдвиги в делителе мощности, ответвителях и передающих линиях соответственно;

« i » - соответствует « i »-ой конфигурации из четырех различных фазовращателей.

Для сигнала с несущей частотой фазовые сдвиги φ_1, φ_2 и θ являются постоянными, зависящими от характеристик делителя мощности, гибридных ответвителей и передающих линий. Следовательно, этот суммарный фазовый сдвиг $\varphi = \varphi_1 + 3\varphi_2 + 2\theta$ является нежелательным и при построении фазовых модуляторов необходимо принимать меры, для того чтобы эти фазовые сдвиги не влияли на формируемое сигнальное созвездие.

Последние достижения в технологии СВЧ-компонентов, их схемотехнике, позволили создать передающие устройства с прямой, цифровой манипуляцией несущего колебания в монолитном интегральном исполнении (ММИС - Monolithic Microwave Integrated Circuit) [1,2,4 - 6].

Как правило, уровень сигнала, вырабатываемый генератором несущих колебаний, является недостаточным для нормальной работы прямого модулятора. Поэтому между цифровым фазовым модулятором и генератором несущих колебаний необходимо установить промежуточный усилитель С-диапазона, согласованный по входу и выходу. Кроме обеспечения необходимого усиления сигнала генератора несущей и согласования, промежуточный усилитель должен также обладать большим динамическим диапазоном, малыми собственными фазовыми шумами. Следовательно, структурная схема радиопередающего устройства С-диапазона может иметь следующий вид (рис. 2):



Рис. 2. Структурная схема радиопередающего устройства X-диапазона

Сигнал управления от микропроцессора (в цифровом виде) поступает на ЦАП, на выходе которого вырабатывается требуемый уровень постоянного напряжения, обеспечивающий необходимую (5,8 ГГц) частоту на выходе ГУНа (в тех случаях, когда нет необходимости в перестройке значения частоты несущей вместо ЦАП включают постоянный прецизионный резистор).

Фирмой «Hittite» выпускается микросхема НМС649LP6 (рис. 3), которая представляет собой шести битовый цифровой фазовый модулятор и предназначена для работы в диапазоне от 3 до 6 ГГц.). Данная микросхема предназначена для применения в аппаратуре военного (weather & military radar) и спутникового назначения (satellite communications). Шести битовое управление позволяет получать фазовые сдвиги ($\Delta\varphi_{\min} \approx 6^\circ$) в диапазоне от 0° до 360° . Изменение фазы несущего колебания в модуляторе осуществляется сигналами TTL – логики (0/+5В).

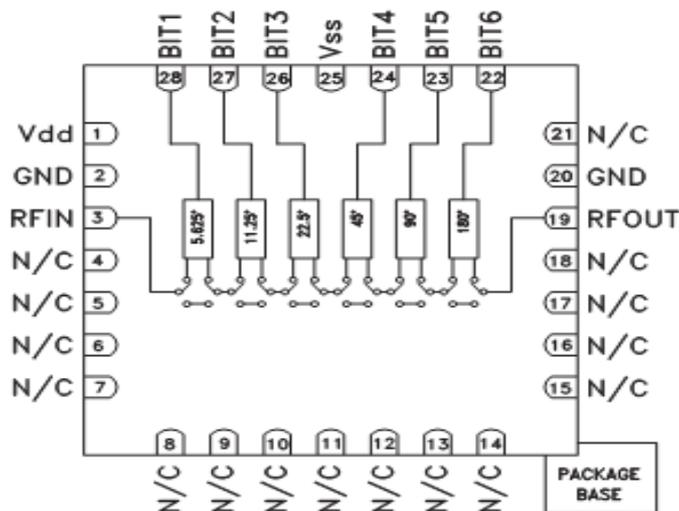


Рис. 3. Функциональная схема модулятора НМС649LP6

Таблица истинности модулятора приведена на рисунке 4.

Truth Table

Control Voltage Input						Phase Shift (Degrees) RFIN - RFOUT
Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	
0	0	0	0	0	0	Reference*
1	0	0	0	0	0	5.625
0	1	0	0	0	0	11.25
0	0	1	0	0	0	22.5
0	0	0	1	0	0	45.0
0	0	0	0	1	0	90.0
0	0	0	0	0	1	180.0
1	1	1	1	1	1	354.375

Рис. 4. Таблица истинности модулятора HMC649LP6

Таким образом, в зависимости от разрядности входной битовой последовательности, на выходе можно, в общем случае, сформировать M – PSK сигнал ($M = 2^6$). При входных управляющих двоичных последовательностях 000100, 000110, 000101, 000111 формируется квадратурный фазоманипулированный сигнал (QPSK).

Уровень несущего колебания при компрессии на уровне 1 dB должен быть не менее 29 dBm. Для обеспечения требуемой величины входного сигнала от генератора несущей на входе модулятора используется одно ваттный усилитель мощности фирмы «Hittite» HMC408LP3 (рис. 5), работающий в диапазоне 5,1÷5,9 ГГц и выполненный по GaAs PHEMT технологии в монолитном микроволновом исполнении (MMIC).

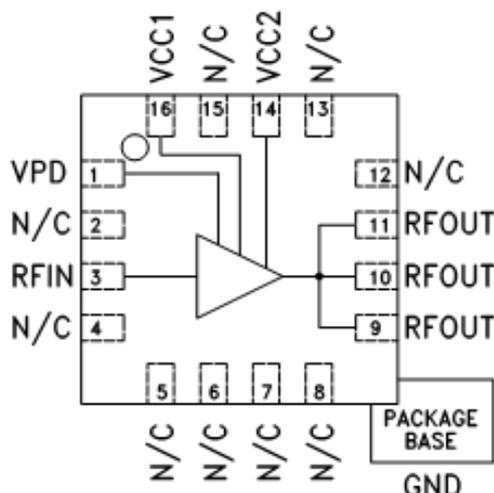


Рис. 5. Функциональная схема микросхемы HMC408LP3

Усилитель имеет внутренние цепи согласования по входу для входного сопротивления 50 Ом, и требует минимальное количество внешних элементов для согласования по выходу. Важной конструктивной особенностью данного усилителя является то, что у него есть специальный выход (V_{pd}), предназначенный для контроля режима работы усилителя, что особенно важно для спутниковых (удаленных) устройств. По величине постоянного напря-

жения на «1» ножке микросхемы можно судить о величине выходной мощности сигнала, коэффициенте усиления, потребляемом токе.

В качестве генератора несущих колебаний используется генератор, управляемый напряжением и выпускаемый фирмой «Hittite» HMC358MS8G. Микросхема выполнена на основе биполярного транзистора с гетеропереходами на основе GaAs InGaP полупроводников, позволяющих работать в диапазоне частот $5,8 \div 6,8$ ГГц. Генератор выполнен по ММІС технологии, что позволяет надежно работать при действии ударных и вибрационных внешних воздействий. Объемные интегральные резонаторы, схема с отрицательным внутренним сопротивлением и варакторный диод обеспечивают очень высокую добротность колебательной системы. Функциональная схема генератора представлена на рисунке 6.

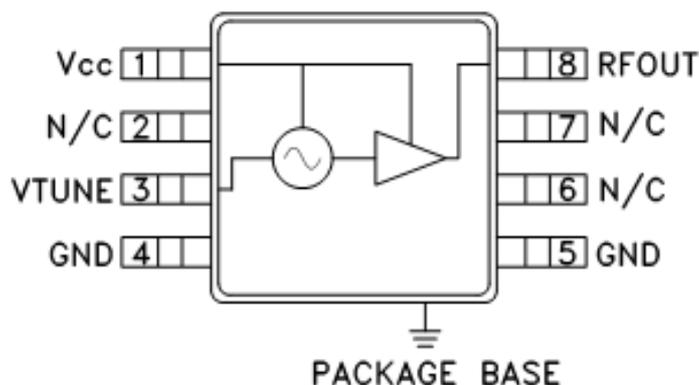


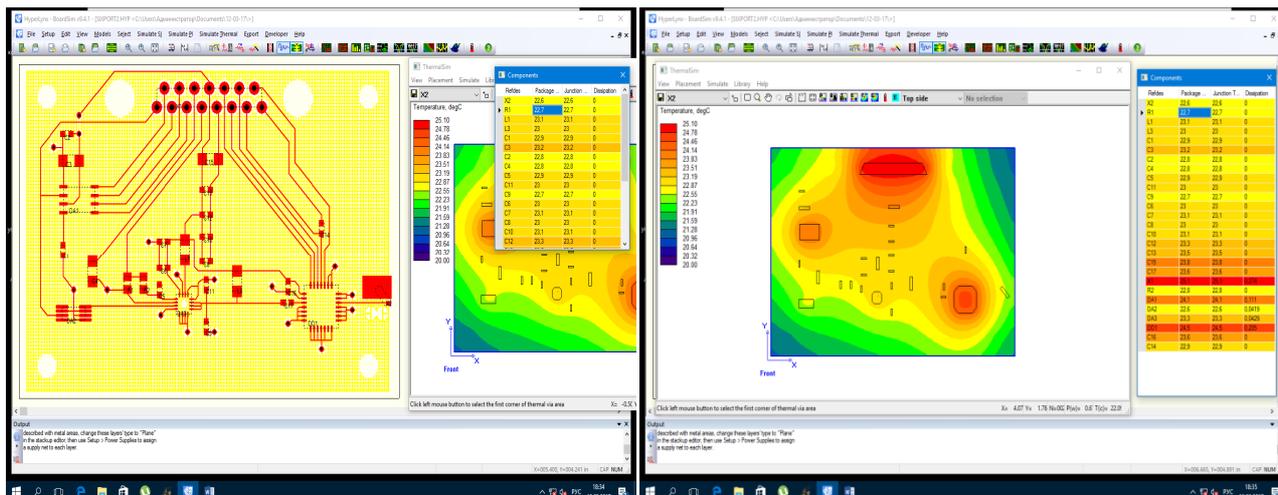
Рис. 6. Функциональная схема генератора HMC358MS8G

Использование буферного усилителя, устраняющего влияние внешних подключаемых цепей на работу колебательной системы, также обеспечивает высокую стабильность частоты генерируемых колебаний.

На базе рассмотренных выше микросхем была разработана схема передающего устройства манипулированных сигналов, работающего в С – диапазоне.

Заключение

На базе разработанной структурной схемы изготовлено передающее устройство для БПЛА на основе прямой цифровой модуляции несущей, обеспечивающее выходную мощность порядка 30 дБм при компрессии на уровне 1 дБ, что является достаточно большой при относительно малых габаритных размерах и незначительном энергопотреблении от источников питания (~ 800 мА). Была разработана печатная схема передающего устройства и с помощью программы “HyperLynx” фирмы “Mentor Graphics” были промоделированы тепловые режимы разработанного устройства, которые представлены на рисунке 7.



а) б)
Рис. 7. Печатная плата передающего устройства (а) и ее температурный образ (б)

Результаты моделирования показывают, что наиболее нагретыми зонами печатной платы являются разъем, на который подаются питающие напряжения схемы и выходной каскад передающего устройства. Однако максимальная температура нагретой зоны не превышает температуры 26°C (при допустимой до 40°), что подтверждает правильность выбранных режимов работы всех блоков передающего устройства. Данный генератор может использоваться как отдельный блок или может быть совмещенным на одной материнской плате вместе с платой управления и платой навигации.

Библиографический список:

1. Vahkka J. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications, Finland, Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.
2. M.Ferriss, D.T.Lin, M.P.Flynn. A Fractional-N PLL modulator with flexible direct digital phase modulation. – IEEE 2009 Custom Intergrated Circuits Conference, p.49-52.
3. Zhao Y., Viereck C., Frigon J.F., Bosissio R.G. and Wu K.// Direct quadrature phase shift keying modulator using six-port technology// Electronics Letters, 2005, 41(21).
4. А.Ткаченко. Прямая цифровая модуляция: принципы и решения. – М.: РНЦ. Техносфера, Электроника:НТБ, №3, 2014, с. 162 – 174.
5. В. Унгурия, Г. Сорокин, Г. Бодян, С. Грицков, Реализация прямой цифровой модуляции/демодуляции BPSK-сигналов, СИЭТ-2013, Одесса, 2013.
6. Fundamentals of Direct Digital Synthesis (DDS). MT-085 TUTORIAL / Analog Device Inc, 2008. – URL: <http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-085.pdf>.

УДК 621.372.542; ГРНТИ 47.05.17

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО БИХ-ФИЛЬТРА НА ПЛИС СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА PYTHON

Р.С. Горюшкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Россия, Рязань, rus.gorushkin@gmail.com*

Аннотация. В данной работе описан процесс проектирования и реализации цифрового фильтра с бесконечной импульсной характеристикой на языке Python. Описывается трансляция полученного кода на языки описания аппаратуры Verilog/VHDL, используемые для моделирования электронных систем и реализации их на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС).

Ключевые слова. ПЛИС, цифровая обработка сигналов, БИХ-фильтр, Python, Verilog, VHDL, MyHDL

DIGITAL IIR-FILTER FPGA IMPLEMENTATION WITH PYTHON

R.S. Goryushkin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, rus.gorushkin@gmail.com*

Abstract. This paper is devoted to the implementation digital filter with infinite impulse response (IIR) algorithm in Python and transformation resulting code to Verilog/VHDL languages. FPGA realization with Verilog/VHDL is also considered.

Keywords. FPGA, digital signal processing, IIR-filter, Python, Verilog, VHDL, MyHDL

Введение

Алгоритмы фильтрации являются наиболее распространенными операциями цифровой обработки сигналов. Для их реализации обычно используются цифровые сигнальные процессоры (DSP) или специально разработанные под конкретный алгоритм интегральные схемы специального назначения (ASIC). Данная работа посвящена реализации алгоритма цифровой фильтрации (цифрового фильтра с бесконечной импульсной характеристикой) на программируемых интегральных схемах (ПЛИС). Преимуществом ПЛИС является более высокая скорость работы по сравнению с DSP, меньшая стоимость по сравнению с ASIC. Но главным преимуществом ПЛИС является гибкость процесса разработки и реализации алгоритмов [1].

Как правило, разработка для ПЛИС ведётся на специализированных языках описания аппаратуры, таких как Verilog HDL (Verilog Hardware Description Language) или VHDL (Very high speed integrated circuits Hardware Description Language). Однако данные языки не являются удобными для быстрого прототипирования и верификации алгоритмов цифровой обработки сигналов. Их применение затруднено без знания особенностей разработки алгоритмов для ПЛИС.

Альтернативным решением для быстрого прототипирования и верификации алгоритмов цифровой обработки сигналов на ПЛИС является их разработка в пакете Matlab с последующим преобразованием в Verilog- или VHDL-код. Однако, вследствие высокой цены, жёсткой привязки к платформе разработки и закрытости исходных кодов, данный вариант не всегда является приемлемым.

Ещё один подход - использование высокоуровневый языка программирования общего назначения Python. Язык Python распространяется под свободной лицензией Python Software Foundation License, позволяющей использовать его без ограничений в любых приложениях. Экосистема языка содержит большое количество библиотек с открытым исходным кодом для математических и научных расчётов, таких как NumPy, SciPy и др. Язык Python позволяют достаточно быстро проектировать алгоритмы цифровой обработки сигналов как самостоятельно, так и с применением сторонних библиотек. Для преобразования ко-

да в языки описания аппаратуры Verilog или VHDL используется свободно распространяемая библиотека MyHDL.

Библиотека MyHDL

MyHDL является надстройкой над языком Python и представляет собой язык описания аппаратуры. Код написанный с использованием MyHDL может быть в автоматическом режиме транслирован в Verilog- и VHDL-код для последующего создания прошивки для ПЛИС [2].

MyHDL был разработан Джаном Декалюве (Jan Decaluwe) в 2004 году. MyHDL не является полноценным языком, он представляет собой надстройку языка в виде модуля на языке Python. Благодаря возможностям метапрограммирования (прежде всего концепции декораторов) и объектно-ориентированного, функционального программирования в Python библиотека MyHDL расширяет синтаксис и концепции Python для описания оборудования.

Возможности MyHDL позволяют полноценно моделировать и тестировать созданные описания оборудования, генерировать исходные коды на языках Verilog и VHDL – в том числе на их синтезируемых подмножествах.

Основными преимуществами использования MyHDL являются[3]:

- возможность использования языка высокого уровня с большим количеством готовых библиотек для реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов;
- простота моделирования алгоритмов, в том числе совместное моделирование Python(MyHDL) кода с Verilog и VHDL-кодом;
- удобство работы с числами со знаком, комплексными числами;
- возможность конвертации одного и того же кода MyHDL как в язык Verilog, так и в VHDL.

В качестве простейшего примера рассмотрим реализацию D-триггера, который, по сути, является задержкой сигнала на один такт.

Реализация на языке Python с использованием библиотеки MyHDL(dff.py):

```
from myhdl import *
# Функция, реализующая работу D-триггера
def dff(q, d, clk):
    @always(clk.posedge)
    def logic():
        q.next = d
    return logic
# Функция генерации Verilog-кода
def convert():
    q, d, clk = [Signal(bool(0)) for i in range(3)]
    toVerilog(dff, q, d, clk)
# Вызов функции генерации Verilog-кода
convert()
```

После вызова функции convert() будет сгенерирован Verilog-код, который может быть использован для дальнейшей работы с ПЛИС(dff.v):

```
module dff (q, d, clk );
output q;
reg q;
input d;
input clk;
```

```

always @(posedge clk) begin: DFF_LOGIC
    q <= d;
end
endmodule

```

Реализация БИХ-фильтра

Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтр) - цифровой рекурсивный фильтр, выход которого связан со входом следующим соотношением:

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i) - \sum_{k=1}^Q a_k y(n-k), \quad (1)$$

где P и Q - порядки ветвей прямой и обратной связи, соответственно;
 b_i - коэффициенты прямой ветви;
 a_k - коэффициенты ветви обратной связи.

Структурная схема реализуемая в данной работе представлена на рисунке 1.

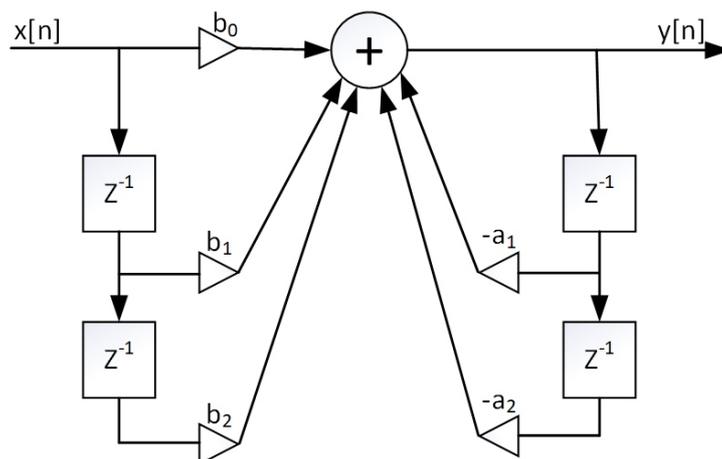


Рис. 1. Прямая форма реализации БИХ-фильтра

Реализация цифрового фильтра при помощи библиотеки MyHDL состоит из следующих шагов:

- 1) расчёт коэффициентов БИХ-фильтра средствами библиотеки SciPy;
- 2) преобразование коэффициентов в формат чисел с фиксированной точкой;
- 3) описание входов и выходов модуля в формате языка MyHDL;
- 4) реализации функции фильтрации на языке MyHDL;
- 5) вызов функции конвертации Python-кода в язык описания аппаратуры Verilog и/или VHDL.

Реализация функции БИХ-фильтра второго порядка с применением библиотеки MyHDL:

```

@always(clk.posedge)
def rtl_iir():
    if ts:
        ffd[1].next = ffd[0]
        ffd[0].next = x

```

```

    fbd[1].next = fbd[0]
    fbd[0].next = yacc[Qd:Q].signed()
    y.next = yacc[Qd:Q].signed()
    @always_comb
    def rtl_acc():
        yacc.next = (b0 * x) + (b1 * ffd[0]) + (b2 * ffd[1]) - (a1 * fbd[0]) - (a2 * fbd[1])
    return instances()

```

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) реализованного фильтра представлена на рисунке 2.

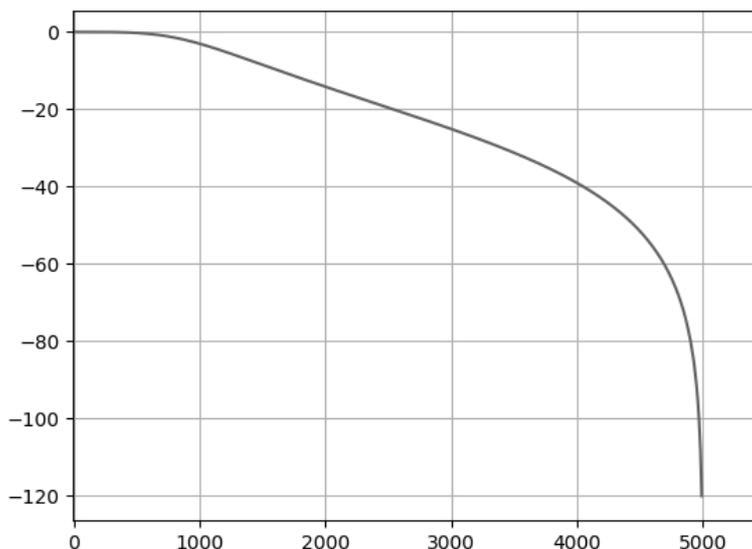


Рис. 2. АЧХ реализуемого БИХ-фильтра

В результате синтеза Verilog-кода и реализации его на ПЛИС Xilinx Spartan3 xc3sd1800a были получены результаты по используемым ресурсам. Для реализации необходимо: 14 блоков цифровой обработки сигналов DSP48 (16% от доступных на кристалле), 92 slices (базовый логический элемент ПЛИС Xilinx) (<1%), 183 LUT (Look-Up Table) (<1%).

Выводы

Связка языка Python и библиотеки MyHDL является достаточно удобной для моделирования и проектирования алгоритмов цифровой обработки сигналов на ПЛИС. При этом нет необходимости в использовании большого количества инструментов и сред разработки. Экосистема языка Python позволяет реализовать алгоритм, провести симуляцию и сгенерировать код на языках Verilog/VHDL.

Библиографический список

1. Chi-Jui Chou, Satish Mohanakrishnan, Joseph B. Evans. FPGA implementation of digital filters. Proc. ICSPAT, 1993.
2. Developing FPGA-DSP IP with Python [Электронный ресурс], URL: <https://www.fpgarelated.com/showarticle/7.php> (дата обращения 01.02.18)
3. MyHDL documentation [Электронный ресурс], URL: <http://docs.myhdl.org/en/stable/> (дата обращения 01.02.18)

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ПРЕПЯТСТВИЙ И ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ СОДЕЙСТВИЯ ВОДИТЕЛЮ

А. Панарина

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, anastasiya-panarina@mail.ru*

Аннотация. В данной работе приведён обзор технологии систем содействия водителю, её перспективы и актуальность. Описывается принцип работы автомобильного радара в мм-диапазоне длин волн и способы совмещения функций детектирования препятствий и передачи сообщений.

Ключевые слова. Детектирование, ADAS, радар миллиметрового диапазона

OBSTACLE DETECTION AND MESSAGE TRANSMISSION IN ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS

A. Panarina

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, anastasiya-panarina@mail.ru*

Abstract. This paper deals with the review of technology of advanced driver assistance system, its prospects and actuality. The principle of operation of the radar in mm range and ways of combining this system with the transmission of messages are described.

Keywords. Detection, ADAS, mm Wave Radar

Введение

Автомобильные радары наряду с другими датчиками, такими как лидар и видеокамеры, образуют основу самоуправляемых автомобилей и усовершенствованных систем содействия водителю (ADAS). Эти технологии обеспечиваются чрезвычайно сложными системами обработки сигналов, начиная от радиолокаторов/датчиков, заканчивая контроллерами. Автомобильные радиолокационные системы отвечают за обнаружение предметов и препятствий, определение их положения и скорости относительно транспортного средства. Развитие технологий обработки сигналов играет ключевую роль в автомобильных радиолокационных системах. Разработаны различные методы обработки сигналов, обеспечивающие лучшее разрешение и оценку эффективности таких параметров, как: дальность, азимутальные углы и скорость объектов, окружающих транспортные средства [1].

Автомобили высокого класса уже имеют радары, которые обеспечивают помощь при парковке и предупреждают о выезде из полосы движения. В настоящее время растет интерес к автомобилям с самоуправлением, и некоторые люди считают его главной движущей силой автомобильной промышленности в ближайшие годы. С началом разработки Google проекта самоуправляемых автомобилей прогресс в этой области получил новый толчок [2].

Самоуправляемые автомобили предлагают совершенно новую перспективу применения радиолокационной техники в автомобилях. Вместо того, чтобы помогать водителю, новые автомобильные радары должны быть способны играть активную роль в управлении автомобилем. По сути, они станут ключевым фактором автономной системы управления автомобилем [2].

Автомобильная РЛС мм-диапазона

РЛС мм-диапазона - это особый класс радиолокационной техники, использующий коротковолновые электромагнитные волны. Радарные системы передают электромагнитные волны, которые отражают объекты на своем пути. При захвате отраженного сигнала радиолокационная система может определять диапазон, скорость и угол объекта. Радары мм-диапазона обладают рядом преимуществ. Например, размер таких компонентов системы как

антенны, мал. Еще одно достоинство коротких длин волн - высокая точность. Система, работающая на частоте 76-81 ГГц (с соответствующей длиной волны около 4 мм), будет иметь возможность обнаруживать движения на доли миллиметра [3].

Полная система РЛС мм-диапазона включает в себя передающие (TX) и принимающие (RX) радиочастотные компоненты; аналоговые компоненты, такие как синхронизатор; и цифровые компоненты, такие как аналого-цифровые преобразователи (АЦП), микроконтроллеры (MCU) и цифровые сигнальные процессоры (DSP). Традиционно эти системы были реализованы с дискретными компонентами, что увеличило потребление энергии и общую стоимость системы [3].

Основными задачами радара являются:

1. Оценка расстояния.
2. Оценка скорости.
3. Оценка направления.

1. Оценка расстояния

Оценка дальности крайне важна для автомобильных радаров. Форма электромагнитных волн, передаваемых радаром, важна для оценки времени задержки в оба конца. Например, непрерывные волны с импульсной модуляцией (CW) состоят из периодических и коротких импульсов мощности, и “тихих периодов”. “Тихие периоды” позволяют радару принимать отраженные сигналы и служат в качестве временных меток для оценки дальности. Однако немодулированные сигналы CW не могут использоваться для оценки дальности, поскольку они не имеют такие метки времени. Кроме того, сигнал, отраженный от цели, должен прибыть до начала следующего импульса. Следовательно, максимально детектируемая дальность радара зависит от интервала повторения импульсов. Передаваемый сигнал, пока он не принят обратно, будет затухать из-за потерь в пути и несовершенного отражения от цели. Кроме того, принятые сигналы подвергаются внутреннему шуму в радиолокационной электронике и помехам, которые могут быть результатом отраженных сигналов от объектов, не представляющих интереса, а так же могут исходить от источников, созданных человеком [1].

Оценка максимального правдоподобия временной задержки - это время, когда величина выходного сигнала согласованного фильтра достигает пика. Наличие шума может нарушить местоположение пика, что приведет к ошибке оценки. Кроме того, радару необходимо решить, действительно ли принятый сигнал содержит отраженный от цели сигнал [1].

Типичная стратегия принятия решений может быть сформулирована на основе применения статистических гипотез (цель присутствует или нет). Это приводит к простому пороговому тестированию на выходе согласованного фильтра. Разрешение по дальности – это способность различать близко расположенные цели. Две цели могут быть разделены по дальности только в том случае, если они производят неперекрывающиеся возвращения во временной области [4]. Следовательно, разрешение по дальности пропорционально ширине импульса. Другими словами, более тонкие импульсы обеспечивают более высокое разрешение. Однако более короткие импульсы содержат меньше энергии, что подразумевает низкое отношение сигнал-шум приемника (SNR) и эффективность обнаружения. Эта проблема преодолевается технологией, называемой импульсной компрессией, которая использует фазовые или частотно-модулированные импульсы [1,4].

2. Оценка скорости

Оценка скорости цели основывается на явлении, называемом эффектом Доплера. FMCW радар передает периодические широкополосные FM-импульсы, угловая частота ко-

торых увеличивается линейно во время импульса. Сигнал, отраженный от цели, смешивается с передаваемым сигналом для получения низкочастотного сигнала биений, частота которого дает дальность до цели. Эта операция повторяется для последующих импульсов. Индекс медленного времени соответствует номеру импульса. С другой стороны, индекс быстрого времени предполагает, что для каждого импульса соответствующий непрерывный сигнал биения дискретизируется с частотой f_s для сбора N выборок в течение времени T [1,5].

Дискретное преобразование Фурье через быстрое время можно применить для получения частоты биений, связанной с доплеровской частотой. Эта операция также известна как преобразование дальности или стробирование дальности, что позволяет оценить доплеровский сдвиг [1,6].

3. Оценка направления

Использование широкополосных импульсов, таких как FMCW, позволяет различать цели как по дальности, так и по скорости. В реалистичной ситуации с несколькими объектами радар собирает прямые и многолучевые отражения от них. В таких случаях для пространственного разделения равноудаленных целей необходимо оценить их угловое местоположение [1,7].

Чтобы использовать оценку направления, радар должен собрать данные отраженной волны в нескольких различных измерениях. Эти различные измерения могут быть сформированы разными способами комбинации времени, частоты и пространства. Например, линейная антенная решетка и широкополосные формы сигнала, такие как FMCW, образуют два уникальных измерения. Кроме того, меньшие длины волн соответствуют меньшим размерам апертуры. Следовательно, эффективный луч излучения в свою очередь увеличивает разрешение угловых измерений [7].

Передача сообщений в ADAS

Несмотря на то, что идея объединения радаров и коммуникаций на единой системной платформе существует уже давно, никогда не было предпринято какое-либо соответствующее внедрение такой концепции. Объединенная система радиолокации и связи станет уникальной платформой для будущих интеллектуальных транспортных систем, для которой важными задачами являются как экологическое зондирование, так и выделение специальных линий связи. Самая важная проблема таких систем может быть связана с тем, что традиционные радиолокационные платформы и сигналы слишком отличаются от коммуникационных. В настоящее время, когда обработка основной полосы частот может быть легко выполнена в цифровом виде, эти ограничения больше не важны. В результате прогресса в последние годы мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM) в сочетании с фазовой манипуляцией (PSK) стало популярной методикой модуляции в новых стандартах связи. OFDM предлагает несколько преимуществ, таких как устойчивость к многолучевому замиранию, простая синхронизация и выравнивание, а также высокая гибкость в проектировании системы, что позволяет легко адаптировать параметры системы к данным характеристикам канала. Кроме того, в литературе уже предложено внедрить радиолокационные сети со встроенными функциями связи на основе сигналов OFDM [8].

OFDM - это метод, который позволяет мультиплексировать передачу символов по ортогональным поднесущим, определяемым базисными функциями. Расстояние между поднесущими должно выбираться так, чтобы исключить взаимное влияние помех. Произвольный информационный ряд состоит из комплексных символов модуляции, полученных путём дискретной фазовой модуляции (например, PSK). Этот информационный ряд преобразуется в сигнал OFDM, проецируя символы модуляции на ортогональные базисные функции. Спектр

представляет собой сумму N sinc-функций, каждая из которых сдвинута на оси частот с постоянным шагом Δf . Предполагается, что радар обрабатывает переданный символ OFDM, который генерируется из произвольной информационной последовательности без каких-либо конкретных ограничений [9].

Основная идея состоит в использовании переданной и полученной информации на выходе демультимплексора OFDM перед выравниванием канала и декодированием. Поскольку все информационные символы в одном OFDM-символе передаются по каналу с различными несущими частотами, разделенными Δf , принятые информационные символы могут использоваться для зондирования канала на дискретных частотах, например, в ступенчатой частотной радиолокации. Динамический диапазон ограничен только боковыми лепестками преобразования Фурье, которые не вызывают значительного снижения производительности и даже могут быть уменьшены за счет применения оконных функций. Также новый подход к обработке полностью не зависит от передаваемой информации, поскольку он связывает каждый полученный символ модуляции с переданным. Этот факт гарантирует постоянную и надежную работу системы независимо от передаваемой информации. Единственным незначительным недостатком является периодичность профиля радара, который может вызвать неоднозначность в конфигурации параметров системы с неправильным интервалом поднесущих [8,10].

Выводы

По мере того, как мы продвигаемся к полностью автономному вождению, появляются многие проблемы и инновационные решения. Основным компонентом автономных систем является автомобильный радар, изготовление которого стало осуществимым благодаря процветанию технологии миллиметровых волн. Одновременно с этим набрали силу для эффективного использования аппаратуры автомобильной радиолокации сложные методы обработки сигналов.

Библиографический список

1. S. Patole, M.Torlak, D. Wang, M. Ali, Automotive Radars. A review of signal processing techniques, Signal Processing for Smart Vehicle Technologies: Part 2. 2017
2. S. Suleymanov, Design And Implementation Of An Fmcw Radar Signal Processing Module For Automotive Applications, Master Thesis. 2016.
3. The fundamentals of millimeter wave sensors. Texas Instruments. 2017.
4. D. Kok, J. S. Fu, IEEE, Signal Processing For Automotive Radar, 2005
5. E. Hyun, Jong-Hun Lee, Method to Improve Range and Velocity Error Using De-interleaving and Frequency Interpolation for Automotive FMCW Radars, 2009
6. Implementing Digital Processing for Automotive Radar Using SoCs, Altera Corporation, 2013
7. Jau-Jr Lin¹, Yuan-Ping Li¹, Wei-Chiang Hsu, Ta-Sung Lee, Design of an FMCW radar baseband signal processing system for automotive application, 2016
8. C. Sturm, T. Zwick, W. Wiesbeck, An OFDM System Concept for Joint Radar and Communications Operations, Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik, University of Karlsruhe (TH). 2009.
9. B. Donnet, I. Longstaff, Combining MIMO Radar with OFDM Communications
10. С. Сысоева, Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности, КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ • № 3, 2007

УДК 621.396; ГРНТИ 49.27.31

ОБЗОР МЕТОДОВ СОВМЕСТНОГО КОДИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКА И КАНАЛА

А.В. Филатов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, filatov.alexandr719@gmail.com*

Аннотация. В данной работе описаны методы совместного кодирования источника и канала, а также смоделированы результаты экспериментов для различных сценариев.

Ключевые слова. LDPC, помехоустойчивые коды, BER

OVERVIEW OF JOINT SOURCE AND CHANNEL CODING METHODS

A. Filatov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, filatov.alexandr719@gmail.com*

Abstract. In this paper, I describe the methods of joint coding the source and the channel, and also the results of experiments for various scenarios are modeled.

Keywords. LDPC, Channel codes, BER

Введение

Оптимальную по Шеннону систему передачи информации можно построить либо по схеме с отдельным кодированием для источника и для канала, либо по схеме с совместным кодированием, в которой функции кодирования для источника и для канала объединены в одном блоке - передатчике, а функции декодирования для канала и для источника — в другом блоке - приемнике.

Основная теорема Шеннона¹ о эффективном кодировании касалась систем связи с бесконечной сложностью и для кодов бесконечной длины, которые передаются по эргодическим каналам без потерь. Хотя для практических систем всегда существуют ограничения на сложность и задержку, а каналы не постоянно эргодические, поэтому теорема разделения не может быть применена.

Удалить всю избыточность используя кодер источника очень сложно, и соответственно получить идеальный помехоустойчивый код, тоже невозможно. Совместная схема может меньшими ресурсами получить сопоставимые с современным уровнем результаты.

Следовательно, возникла задача совместного декодирования источника и канала.

Методы совместного кодирования источника и канала

Были рассмотрены методы энтропийного кодирования для источника и итеративное декодирование², которое использует остаточную избыточность. Было выявлено, что коды переменной длины обеспечивают сжатый поток битов, который очень чувствителен к ошибкам в канале передачи. Такое свойство не подходит, когда рассматриваются сети передачи с множеством переходов.

Существуют другие случаи, когда источник не может применяться для питания или повышения вычислительной мощности. Они в основном были сосредоточены на использовании исходной корреляции на декодере. Даже идеальные, такие решения не являются разумными для систем с ограниченной пропускной способностью.

Рассмотрим схему кодирования LDPC для коррелированных источников. Кодирование обеспечивается с помощью кода источника фиксированной длины, который сжимает избыточную часть, за которым следует обычная коррекция ошибок. Также может быть представлен двойной код LDPC двудольным графом Таннера. Двойное кодирование LDPC позволяет добиться значительных успехов по сравнению с классическим кодированием LDPC, за счет остаточной ошибки в зависимости от скорости кодирования источника и канала.

Метод кодирования с использованием LDPC кодов

Оценим преимущество использования совместного кодирования с использованием LDPC-кодеров для двухточечной системы без ошибок и для трех сценариями в зависимости от расположения ретранслятора (сценарий А, сценарий В и сценарий С).

Обеспечим коэффициент усиления около 0,5 дБ для BER, равный 10^{-3} и коэффициент усиления около 0,6 дБ для BER, равный 10^{-2} со сценарием А. Кроме того, примем коэффициент усиления около 0,65 дБ для BER, равный 10^{-2} со сценарием С и коэффициентом усиления около 1 дБ со сценарием В. BER уменьшается за счет ошибки почти на $2 \cdot 10^{-5}$ Можно заметить, что ошибка для метода совместной коммуникации и для двухточечной почти одинаковая, потому что они имеют одинаковую степень сжатия. Если обеспечить коэффициент усиления около 0,35 дБ для BER = 10^{-3} по сравнению с сценарий С и коэффициент усиления около 0,6 дБ по сравнению со сценарием А. Можно сделать вывод о том, что система совместной связи, использующая ретранслятор может улучшить производительность системы, особенно со сценарием В.

Цель состоит в том, чтобы сравнить эффективность метода совместного кодирования с использованием LDPC-кодеров для системы с топологией сети - «точка-точка» с различным расположением ретранслятора.

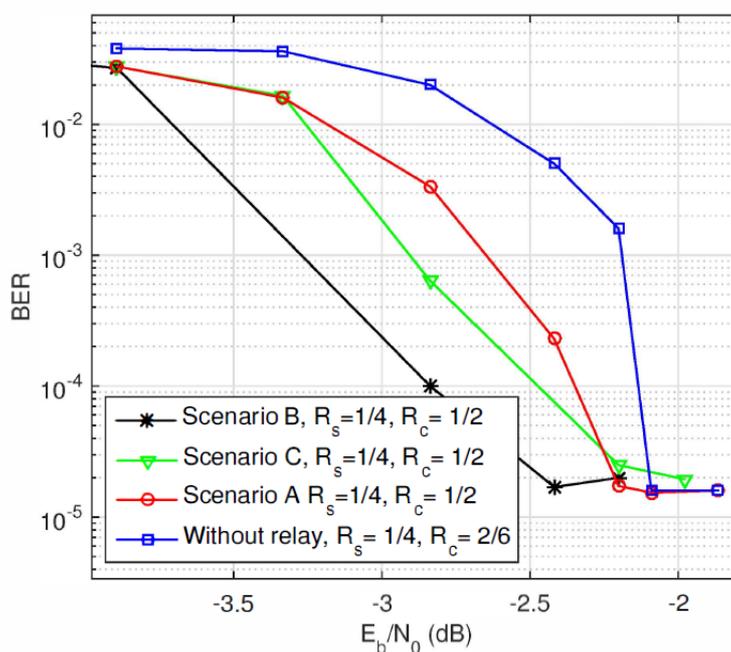


Рис. 1. Зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум

На стороне декодера рассмотрим каскадный декодер с использованием 100 итераций. На рисунке 1 приведена зависимость средней частоты ошибок при передаче (BER) от E_b/N_0 для Марковского источника с двумя состояниями и длиной до 3000 бит, а вероятность переключения состояний равна 0,02. Эффективность анализируется для системы «точка-точка» со скоростью передачи ошибок $R_e = 1/3$ и символьной скоростью передачи $R_s = 1/4$ и релейная система с $R_s = 1/4$ и $R_e = 1/2$. Обе системы приводят к одинаковой общей скорости передачи 1,33. Мы видим, что производительность совместной коммуникации лучше, чем у LDPC кодов, основанных на двухточечной системе с различными сценариями.

Выводы

Основываясь на результатах моделирования можно прийти к выводу, что совместное кодирование источника и канала не вызывает потерей эффективности в случае, когда требуется восстановление сообщений с пренебрежимо малой ошибкой («без искажений»). При этом сложность системы совместного кодирования проще, чем системы с отдельным кодированием.

Библиографический список

1. Основная теорема Шеннона о эффективном кодировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peredacha-informacii.ru>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 01.02.2018).
2. IEEE Xplore Digital Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 01.02.2018)
3. Вернер М. Основы кодирования, 2006 – 288 с.
4. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение, 2006 – 319 с.
5. C. E. Shannon. A mathematical theory of communication, 1948
6. T. M. Cover and A. Thomas. Elements of Information Theory, 1991.
7. M. Fresia, F. Perez-Cruz, H. V. Poor, and S. Verdu, Joint source and channel coding, 2010.
8. A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, User cooperation diversity part system description, 2003.

УДК 004.42; ГРНТИ 50.41.25

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

С.В. Витязев, В.А. Минаков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская федерация, Рязань, vlad.minakov08@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описаны особенности разработки программного обеспечения для многопроцессорных систем, построенных на основе цифровых сигнальных процессоров ADSP TS-201S фирмы Analog Devices. Рассмотрено решение контрольной задачи, реализующей обработку радиолокационной информации. Представлены особенности обеспечения пересылки данных между сигнальными процессорами в составе модуля посредством линк-портов.

Ключевые слова. Многопроцессорные системы, программное обеспечение, цифровая обработка сигналов, вычислительный модуль.

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR PROCESSING RADAR INFORMATION FOR MULTIPROCESSOR SYSTEMS

S.V. Vityazev, V.A. Minakov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, vlad.minakov08@mail.ru*

Abstract. This paper describes the features of software development for multiprocessor systems built on the basis of digital signal processors ADSP TS-201S the Analog devices company. The decision of the control task realizing processing of the radar information is considered. Features to ensure data transfer between the digital signal processors within the module without link-ports.

Keywords. Multiprocessing systems, software, digital signal processing, processing module.

Введение

Современные приложения для вычислительных систем требуют все большей производительности аппаратных средств. На начальных этапах развития вычислительной техники, увеличение скорости работы достигалось за счет увеличения тактовой частоты. Однако, необходимость уменьшения размеров чипа, которыми определяется максимальная тактовая

частота, влечет за собой снижение эффективности отвода тепла[1]. На сегодняшний день, метод улучшения характеристик производительности микропроцессоров за счет увеличения их тактовой частоты практически исчерпан.

К моменту достижения предела тактовой частоты процессоров, для создания высокопроизводительных вычислительных машин применялось объединение процессоров в многопроцессорные системы [2]. Были созданы две базовые концепции построения многопроцессорных систем, используемые по настоящее время в современной вычислительной технике: концепция общей памяти и концепция коммутационной среды.

В современной радиолокации цифровая обработка сигналов является наиболее приоритетной и ресурсоемкой задачей, решение которой все чаще доверяется многопроцессорным системам цифровой обработки сигналов.

Формулировка контрольной задачи

Контрольной задачей является спектральная обработка радиолокационного режима ОБЗОР ВЧПИ для двух стробов дальности и двух каналов диаграммы направленности антенны, конкретно, спектральная обработка, в которой реализуется быстрое преобразование Фурье (БПФ) на $N = 2048$ комплексных отсчетов, с последующим вычислением амплитудного спектра.

На первом этапе исследований проводится измерение времени выполнения алгоритма БПФ, и последующего вычисления амплитудного спектра сигнала и определения превышений порогового значения уровня сигнала на одном сигнальном процессоре. На втором этапе измеряются временные издержки аналогичных алгоритмов на двух сигнальных процессорах, и совместной пороговой обработки на одном цифровом сигнальном процессоре (ЦСП). После чего будет произведено сравнение временных затрат на выполнение пересылки данных, обслуживания прямого доступа к памяти и общего времени выполнения функции.

Архитектура многопроцессорной вычислительной системы

На сегодняшний день, для разработчиков существует множество различных архитектурных решений для создания мультипроцессорных систем в цифровой обработке сигналов (ЦОС), и выбор конфигурации обуславливается поставленными перед устройством задачами. Многопроцессорная вычислительная система «узел сигнальных процессоров» (УСП), представленная в данной работе, относится к категории вычислительных систем с распределенной памятью, или мультикомпьютеров.

В состав данного модуля входят следующие компоненты:

- 1) 4 ЦСП ADSP TS-201S фирмы Analog Devices;
- 2) 2 программируемых логических интегральных схемы (ПЛИС) фирмы Altera;
- 3) 4 микросхемы ОЗУ, объемом 16 МБ;
- 4) 4 микросхемы FLASH-памяти.

Обработка сигналов осуществляется на ЦСП, соединенных между собой линк-портами, которые входят в состав стандартной архитектуры ЦСП TS-201S. ПЛИС предназначены для задач информационного обмена между узлом процессоров и периферийными устройствами. Архитектура узла сигнальных процессоров представлена ниже на рисунке 1.

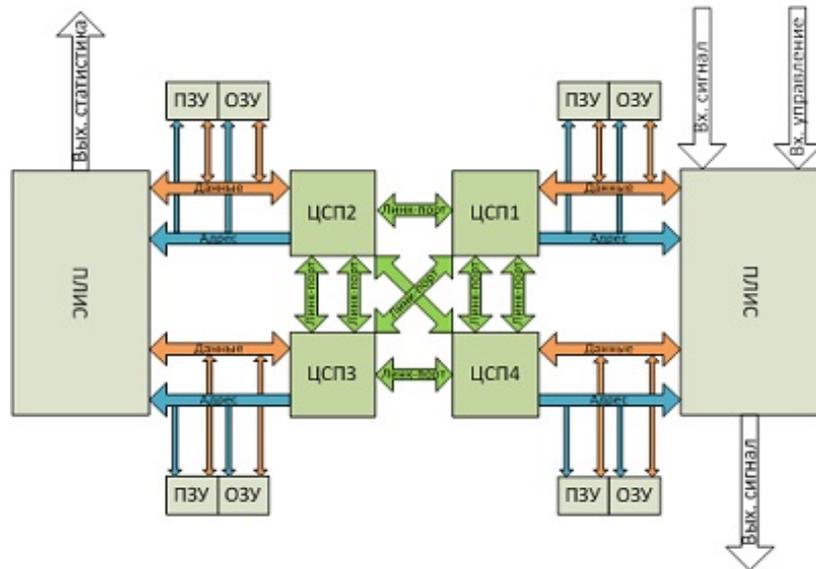


Рис. 1. Архитектура вычислительного модуля УСП

Для создания программного обеспечения выбрана операционная система реального времени (ОСРВ) VDK, предоставляемая с интегрированной средой разработки VisualDSP++. Задачи операционной системы состоят в распределении процессорного времени между выполняемыми задачами. В рамках данной работы, в ОСРВ VDK, стандартными средствами были включены 2 вида объектов: рабочий поток обслуживания прикладного программного обеспечения; обработчики прерываний прямого доступа к памяти и линк-портов.

Отличительной особенностью данной архитектуры является отсутствие общей памяти, как следствие, для обеспечения межпроцессорного обмена необходимо обеспечивать передачу сообщений между процессорами, посредством линк-портов.

Реализация алгоритма обработки радиолокационной информации на УСП

Для обеспечения межпроцессорного обмена необходимо подключить стандартные библиотеки для работы с системными регистрами и встроенными функциями чтения/записи данных непосредственно в регистры процессора. Это связано с необходимостью активации линк-порта, с последующей организацией канала ПДП. Ниже приведен перечень библиотек, необходимых для организации обмена.

```
#include <sysreg.h>
#include <stdlib.h>
#include <builtins.h>
#include <defTS201.h>
```

Файл «builtins.h» содержит прототипы функций для записи данных в регистры, а также типы данных, которые соответствуют 128 разрядным регистрам обслуживания ПДП [3].

Для упрощения работы с регистрами линк-портов создано объединение типов данных.

```
union LINK_TCB
```

```
{
```

```
    __builtin_quad qT; // 16 байтовое слово
```

```
    struct
```

```
    {
```

```
        unsigned long DI; // Указатель на источник данных
```

```
        unsigned long DX; // Количество слов и шаг
```

```
        unsigned long DY; // Регистр для работы с 2D массивами
```

```
        unsigned long DP; // Системные настройки
```

```

} dT;
};

```

Иллюстрация алгоритма обработки представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Иллюстрация алгоритма параллельной обработки радиолокационной информации

На начальном этапе работы программного обеспечения происходят системные настройки ЦСП, связанные с установкой регистров конфигурации внешней оперативной памяти и запрет всех прерываний. После чего осуществляется инициализация и запуск ОСРВ. Каждый из процессоров осуществляет локальную обработку входного сигнала, после чего процессор 1 переходит в состояние ожидания прихода прерывания о начале передачи данных вторым процессором.

После выполнения локальных вычислений на процессоре 2, запускается функция передачи информации. Для ее выполнения необходима инициализация линк-порта, после которой на стороне первого процессора вырабатывается прерывание, обозначающее наличие данных, подлежащих приему. В состав данных, передаваемых через линк-порт входит аналогичная структура, которая записывает данные в регистр для порта. После чего, начинается процедура ПДП из первого процессора к данным процессора 2.

Результаты практического выполнения программного обеспечения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты выполнения программы

Задача	Время выполнения на одном процессоре	Время выполнения на двух процессорах
Выполнение спектральной обработки	24 [мс]	12 [мс]
Программирование контроллера ПДП	нет	0,005 [мкс]
Цикл ожидания приема данных	нет	2 [мс]
Процедура пересылки данных	нет	1 [мс]

Выводы

Наиболее эффективное распараллеливание задач будет достигаться за счет пересылки массивов, время на передачу которых превышает время, затрачиваемое на обслуживание линк-портов и организацию ПДП. За счет применения многопроцессорной обработки радиолокационной информации удалось значительно ускорить выполнение алгоритмов, что позволяет внести дополнительную обработку.

Применение многопроцессорной обработки сигналов позволяет существенно увеличить производительность систем ЦОС. Достижение максимальных значений производительности возможно только при правильной организации межпроцессорного взаимодействия, прагматично разработанной архитектуры узла, а также наличия необходимого набора отладочных средств. Конкретная реализация программного обеспечения зависит от частных особенностей задачи. Тем не менее, существует набор инструментов, которые позволяют упростить разработку и отладку программ.

Библиографический список

1. Э. Таненбаум Х. Бос «Современные операционные системы» 4е изд., «Питер», 2015г. Глава 8, стр. 576 – 653.
2. «A guide to SHARC DSP multiprocessing solution» first edition; стр 154 – 159.
3. ADSP TS201 TigerSHARC Processor Hardware Reference, Revision 1.1, December 2004, Analog Devices, Inc.

УДК 621.396; ГРНТИ 49.27.31

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМАХ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Д. Рыбаков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mitya.ribakov@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе описаны методы псевдослучайной перестройки рабочей частоты. Проанализированы преимущества данного метода расширения спектра, такие как скрытность, энергозатраты, устойчивость к узкополосным помехам, увеличение эффективности полосы пропускания. В результате моделирования были получены практические результаты по поведению систем с перестройкой частоты с различными видами модуляции: QAM, QPSK, GFSK, доказана эффективность применения определенных видов модуляции с системами FHSS.

Ключевые слова. FHSS, AFH, методы расширения спектра, широкополосная цифровая радиосвязь

INVESTIGATION OF METHODS OF FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM IN SYSTEMS OF BROADBAND DIGITAL RADIOCOMMUNICATION

D. Rybakov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, mitya.ribakov@yandex.ru*

Abstract. This article describes the methods of frequency-hopping spread spectrum. The advantages of this method of spreading the spectrum are analyzed, such as stealth, energy consumption, narrowband immunity, and increase of the bandwidth efficiency. As a result of the simulation, practical results were obtained on the behavior of systems with frequency tuning with various types of modulation: QAM, QPSK, GFSK, the effectiveness of using certain types of modulation with FHSS systems was proved.

Keywords. FHSS, AFH, spread-spectrum, broadband digital communication

Введение

Для повышения производительности беспроводной связи на малых расстояниях качество канала должно быть как можно лучше, без помех и многолучевого замирания. Метод псевдослучайной перестройки частоты (FHSS) - это метод передачи, где несущая перескакивает с одной частоты на другую [1]. Для скачкообразной перестройки частоты механизм должен быть сконструирован таким образом, чтобы данные могли быть переданы по свободному от шума каналу и при этом избежать перегрузки каналов. Системы с адаптивной скачкообразной перестройкой частоты используют для помехозащищённости от частотных помех, избегая использования перегруженных частотных каналов с помощью последовательности скачков частоты. Производилось моделирование, симуляция и анализ повышения производительности использования метода FHSS с помощью различных схем модуляции.

При проектировании систем со скачкообразным изменением частоты основное внимание должно уделяться улучшению производительности беспроводной связи с помощью адаптивных методов скачкообразной перестройки частоты, которая реализуется путем выбора наборов каналов связи и адаптивной скачкообразной перестройкой частотных каналов передатчика и приемника и определение номера канала с меньшим количеством помех [2]. Также важно знать, являются ли выбранные каналы перегруженными или свободными от помех, тогда может быть создан список «чистых» каналов и на практике использовать обнаруженные частотные каналы в качестве последовательности перестройки частоты для улучшения производительности связи и, наконец, качества обслуживания.

Методы скачкообразной перестройки частоты

Метод псевдослучайной перестройки рабочей частоты - технология передачи, используемая в беспроводных сетях и способ расширения спектра путем скачкообразной перестройки несущей частоты. Метод эффективно используется в беспроводной связи Bluetooth, BLE и системах военного назначения. FHSS использует узкополосный сигнал, который меньше 1 МГц [3]. В этом методе сигнал данных модулируется узкополосным несущим сигналом, который «прыгает» в случайном порядке, а прыжок происходит исходя из псевдослучайной «предсказуемой» последовательности через определённые промежутки времени от частоты к частоте, которая синхронизирована со стороны передатчика и приёмника. Использование технологии FHSS улучшает криптостойкость. Это эффективное решение, позволяющее избежать интерференции и замирания (искажения), уменьшает узкополосные помехи, увеличивает энергетический потенциал системы, улучшает отношение сигнал/шум, эффективность полосы пропускания повышается и трудно перехватить сигнал, спектр которого расширен таким методом, так как система может совместно использовать частотную полосу одновременно со многими типами беспроводных систем с минимальными помехами. Частотный скачок - это периодическое изменение частоты передачи и изменение происходит по частотной полосе, которая состоит из числа каналов. Метод псевдослучайной перестройки по частоте классифицируется на медленный (Slow FHSS) и быстрый (Fast FHSS). При медленной перестройке частоты более одного символа данных передается в одном и том же канале, а при быстрой - частота скачкообразно меняется несколько раз в течение передачи одного символа. Существует псевдослучайная и детерминированная перестройка рабочей частоты [4].

Адаптивная скачкообразная перестройка рабочей частоты (AFH) - это система, в которой устройства постоянно меняют свои рабочие частоты, чтобы избежать помех от других устройств и поддерживать безопасность [5]. AFH классифицирует каналы как «хорошие» или «плохие» и адаптивно выбирает их из пула «хороших» каналов и перестраивается только по частотам этих каналов, с меньшими помехами. Преимуществом AFH можно назвать: активное избегание узкополосных помех и частотных замираний, избегание переполненных

каналов в перестройке частот, уменьшение вероятности битовой ошибки, снижение мощности передачи, работа с адаптивным каналом будет еще больше повышать производительность системы. RSSI (показатель уровня принимаемого сигнала) является критерием оценки качества канала, по которому работает AFH [6].

Исследование модели псевдослучайной перестройки рабочей частоты с помощью пакета прикладных программ Matlab

Для разработки модели скачкообразной перестройки частоты (FH) использовался MATLAB Simulink. Формирователем перестройки частоты в секции передатчика является модуль M-FSK, а входным параметром модулятора является число прыжков [7]. Подсистема задающего генератора состоит из «PN Sequence Generator», «Assemble Packets block» and блок «Goto», как показано на рисунке 1.

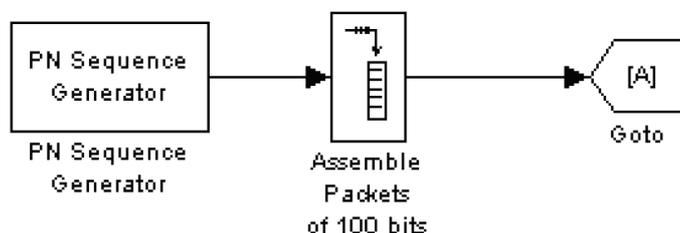


Рис. 1. Блок задающего генератора в Simulink

Блок перестройки рабочей частоты на стороне передатчика показан на рисунке 2. Он состоит из модулятора «M-FSK» (с M равным 64), блок «From» (индекс Нор задавался на предыдущем шаге), блок «To Frame» и блок умножения. Параметр блока FSK модулятора равен 64 в индексе M-FSK, а это означает, что имеется 64 варианта частотных прыжков. Эти поддиапазоны выбираются индексами перескока.

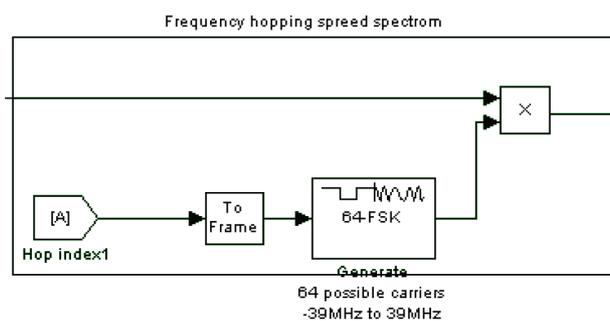


Рис. 2. Блок перестройки рабочей частоты на стороне передатчика

Конструкция блока перестройки рабочей частоты на стороне приёмника является такой же, как и на стороне передатчика, но выход блока модулятора M-FSK комплексно сопряжен, как показано на рисунке 3.

Эта модель скачкообразной перестройки частоты используется для оценки передачи полезного сигнала с помощью трех различных видов модуляции: QAM (как показано на рисунке 4), QPSK (как показано на рисунке 5), GFSK (как показано на рисунке 6) и сравнивает работу системы с методом без перестройки рабочей частоты. Оценка эффективности основана на значениях вероятности битовой ошибки (BER) в двух ситуациях по сравнению с нормализованным отношением сигнал/шум (SNR) и измеренными значениями E_b/N_0 канала.

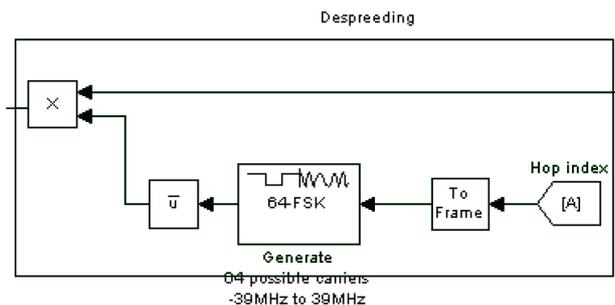


Рис. 3. Блок перестройки рабочей частоты на стороне приёмника

Из рисунка 4 видно, что применение FH с модуляцией QAM не приводит к существенному улучшению производительности или значительному уменьшению параметра BER. Из рисунка 5 видно, что применение FH с модуляцией QPSK дает хороший результат и значительно снижает BER по сравнению с FH на том же уровне SNR. Из рисунка 6 можно сделать вывод, что применение FH с модуляцией GFSK резко снижает BER по сравнению с отсутствием расширения спектра перестройкой частоты на том же уровне SNR и приводит к значительно более высокой производительности.

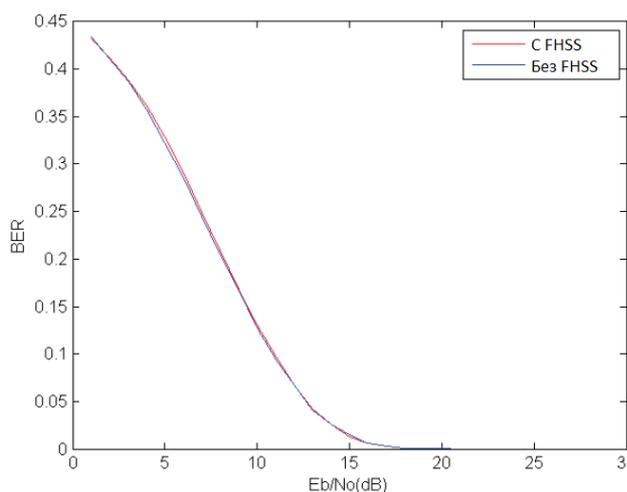


Рис. 4. QAM модуляция

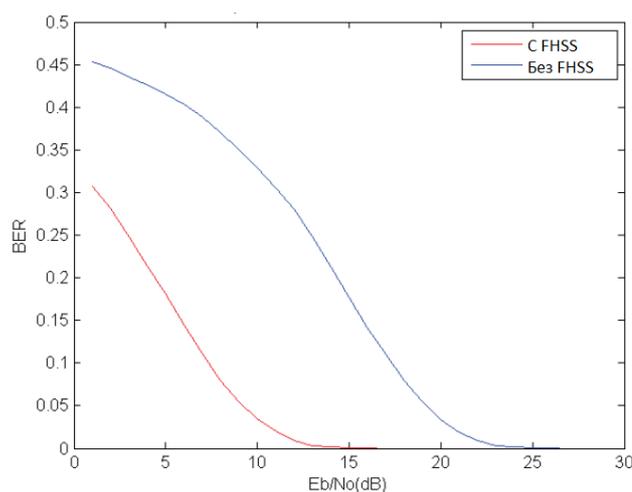


Рис. 5. QPSK модуляция

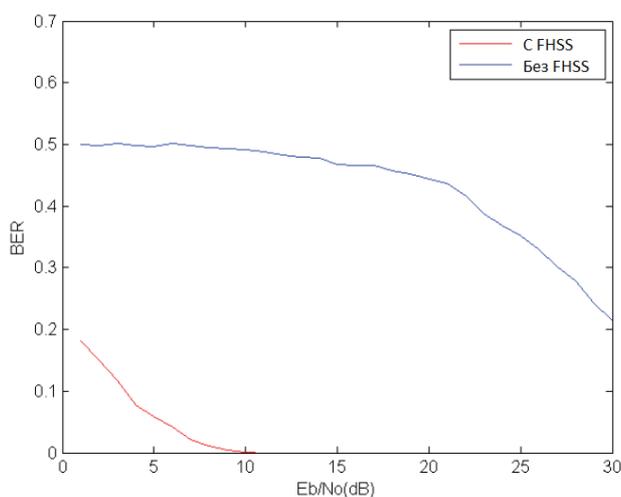


Рис. 6. GFSK модуляция

Выводы

В целом, исходя из результатов эксперимента ясно, что применение разработанных схем FHSS с определенной модуляцией могут улучшить их коммуникационные характеристики, особенно при слабых уровнях SNR, чем обычно и характеризуется беспроводная связь на коротких расстояниях.

Псевдослучайная перестройка рабочей частоты моделируется с помощью MATLAB для трёх разных видов модуляций, таких как QAM, QPSK и GFSK, чтобы исследовать, какая из этих модуляций лучше подходит для применения с моделью FHSS. Результаты моделирования показывают, что применение FHSS с модуляцией QAM не приводит к значительному снижению BER, но модуляция QPSK дает хороший результат и снижает BER при более низком SNR, тогда как в GFSK модуляция показывает значительное снижение BER и приводит к высокой помехоустойчивости системы.

Библиографический список

1. A. Riaz and M. Ali, "Chaotic communications, their applications and advantages over traditional methods of communication," in 6th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, CNSDSP, 2008, pp. 21–24.
2. T. Rappaportl, Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed. USA: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 2001, p. 286.
3. Ziemer, R.; Peterson, E. R. L. & Borth, D. E., Introduction to Spread Spectrum Communications, Prentice Hall, 1995.
4. Zander, J. & Malmgren, G. Adaptive frequency hopping in HF communications, IEE Proceedings Communications, Vol. 142, 1995, pp. 99-105.
5. Lemmon, J. J. Wireless link statistical bit error model, Institute for Telecommunication Sciences, 1995.
6. Adeel Ahmad and Rahat Ullah "Efficient Transmission of Information using Transmission Code along FHSS". International Journal of Computer Applications, 2012, 40(9).
7. Yu Zhang, Xuehe Zheng, Sen Yang, "Modeling and Performance Analysis of Frequency Hopping Spread Spectrum Communication System", Beijing Institute of Technology Beijing, China, 2010.

СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ»

УДК 004.9; ГРНТИ 50.41.00

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕКСТОВОГО ПРОЦЕССОРА MICROSOFT WORD ПРИ НАПИСАНИИ НАУЧНЫХ РАБОТ

А.В. Пруцков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mail@prutzkow.com*

Аннотация. Приведены типовые проблемы, возникающие при написании научных работ в текстовом процессоре Microsoft Word: ведение списков с единым форматированием, составление нестандартных библиографических списков, использование вычисляемых полей, автоматизация работы за счет использования сочетаний клавиш и др.

Ключевые слова. Текстовые процессоры, Microsoft Word, написание научных работ

WAYS OF USE OF THE MICROSOFT WORD TEXT PROCESSOR FOR SCIENTIFIC PUBLICATION WRITING

A.V. Prutzkow

*Ryazan State Radio Engeneering University,
Russian Federation, Ryazan, mail@prutzkow.com*

Abstract. We consider methods of work in the Microsoft Word text processor for scientific publication writing: one style list forming, compiling of non-typical bibliography, using calculating fields, work automatization by defining key-combinations to prevailing actions, and other.

Keywords. Text processors, Microsoft Word, scientific article writing

Введение

Текстовый процессор Microsoft Word версии 2010 (далее Word) предоставляет пользователю разнообразные возможности. Однако большинство пользователей не применяют их при работе в этой программе, так как не знают о них.

Целью статьи является перечисление типовых проблем, возникающих при редактировании научных статей, и возможных способов их решения в текстовом процессоре Microsoft Word.

Автоматическая нумерация полями Seq

Проблема. Списки в тексте могут иметь различные стили, что усложняет форматирование текста. Это приводит к тому, что некоторые редакции научных изданий и межвузовских сборников запрещают использовать автоматические списки в тексте, требуя заменить их ручным набором номеров элементов списка. Требуется, чтобы списки имели один и тот же стиль.

Решение заключается в использовании другого способа автоматической нумерации – поля Seq (не путать с полями документа – отступами от края страницы до области текста).

Перечислим основные операции при работе с полем Seq (относятся и к другим полям, которые будут упомянуты далее в статье).

Вставка поля Seq осуществляется нажатием сочетания клавиш CTRL + F9 и вводом названия поля Seq и идентификатора. У каждого списка должен быть свой идентификатор. Только в этом случае нумерация будет начинаться с 1. Имя идентификатора начинается с буквы русского или латинского алфавита, далее следуют буквы, цифры и знак подчеркивания. Поля Seq с одним идентификатором образуют список.

Вы можете скопировать поле в буфер обмена, а затем вставлять по мере необходимости. Однако поля Seq будут отображать один и тот же номер. Чтобы скорректировать нумерацию, необходимо обновить поле.

Обновление поля осуществляется клавишей F9. Прежде необходимо поставить курсор на поле или выделить поле или текст, содержащий поля.

Ключи поля Seq:

\c – вставляет ближайший сверху номер списка;

\r – начинает нумерацию с указанного после ключа номера; например, ключ \r 10 начинает нумерацию с 10;

\s – начинает нумерацию с указанного после ключа уровня заголовков.

Ключи, вид нумерации и другие параметры поля Seq можно задать, нажав на нем правой кнопкой мыши, выбрав пункт контекстного меню «Изменить поле ...» и в открывшемся окне нажав кнопку Параметры.

В отличие от поля ListNum, поле Seq выводит только номер, но не знаки препинания и скобки. Это позволяет форматировать номера списка так, как это необходимо в данной части текста.

Другим преимуществом поля Seq перед списками является возможность делать закладки на определенные поля Seq, а значит определенные пункты списка. Эта возможность будет использована при формировании списка литературы и ссылок на его элементы, а также для ссылок на объекты с измененными названиями.

Ссылки на номера объектов с измененными названиями

Проблема. Согласно требованиям оформления публикаций некоторых редакций изданий таблица помечается названием «Таблица», однако ссылка на неё должна помечаться сокращенным названием «табл.». Или рисунок помечается словом «Рисунок», но ссылку надо указать в тексте «показана на рисунке». Word не позволяет вывести только номер объекта, а выводит еще и название.

Решением данной проблемы является пометка номера таблицы или рисунка закладкой, а затем вставкой её в место ссылки, как было описано выше. Обратите внимание, что для нумерации объектов используется поле Seq с определенным идентификатором (Рисунок, Таблица и т. п.). Рекомендуется имя закладки начинать с префикса Рис_ для рисунков и Табл_ для таблиц, а затем добавить 2-3 слова из названия рисунка или таблицы. Максимальная длина имени закладки 40 символов. Чтобы вставить название объекта в Word, необходимо выбрать вкладку Ссылки на ленте и пункт меню Вставить название.

Создание нестандартного списка литературы

Проблема. В Word формат списка литературы и ссылок выбирается из готовых шаблонов. Однако требования к оформлению списка литературы и ссылок в разных изданиях могут отличаться, что приводит к необходимости ручной корректировке списка и ссылок.

Решение заключается в создании списка, пронумерованного полями Seq, если в ссылке необходимо указать номер публикации в списке. Далее номера публикаций помечаются закладками. Рекомендуется в имя закладки внести фамилии авторов и несколько первых слов заголовка публикации, чтобы проще находить нужную закладку при вставке ссылки. В имени закладки рекомендуется использовать префикс, например, Кн_.

Преимуществом этого решения является автоматическая перенумерация списка и ссылок в случае удаления и добавления публикаций.

Автоматизация обновления характеристик диссертации в разделе «Структура и объем диссертационной работы» в ее введении

Проблема. Раздел «Структура и объем диссертационной работы» обычно имеет следующее содержание:

«Диссертационная работа общим объемом N1 страниц состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа содержит N2 страницы основного текста, включающего N3 рис. и N4 табл., библиографический список из N5 наименований на N6 страницах, приложения на N7 страницах.»

Необходимо, чтобы значения N1-N7 обновлялись автоматически при изменении текста диссертации.

Решение для значений N1-N7 будет различным. В некоторых случаях для автоматизации обновления используется поле *Формула*, начинающееся со знака равно «=».

Вместо значений N1-N2, N5-N7 можно использовать следующие поля.

N1 – поле NumPages.

N2 – поле *Формула* вида $\{ = K - 1 \}$ (при условии, что основной текст находится в начале диссертации), где K – поле с номером страницы, на которой находится следующий после основного текста заголовок (обычно «Библиографический список»). Номер страницы K вставляется как перекрестная ссылка на номер страницы с заголовком с помощью следующих действий:

- выбрать вкладку *Вставка* и пункт меню *Перекрестная ссылка*;
- в списке *Тип* ссылки выбрать значение *Заголовок*;
- в списке *Вставить ссылку на:* выбрать значение *Номер страницы*.

N5 – ссылка на закладку на последнюю публикацию в библиографическом списке, названную, например, Кн_ПоследняяСсылка. При добавлении публикаций в конец списка, необходимо перенести эту закладку в конец списка.

N6 – поле *Формула* вида $\{ = L - M \}$, где L – поле с номером страницы с заголовком следующего раздела после библиографического списка; M – поле с номером страницы с заголовком «Библиографический список». Поля L и M вставляются также, как поле K для значения N2.

N7 – поле *Формула* вида $\{ = P - Q + 1 \}$, где P – поле NumPages; Q – поле с номером страницы с заголовком первого приложения.

Автору не удалось найти способ автоматизировать обновление значений N3 и N4.

Сравнение версий документов

Проблема. При подготовке статей несколькими авторами создаются несколько версий. При увеличении числа версий сложно отслеживать, какие изменения были сделаны в статье.

Решение заключается в использовании встроенного средства Word сравнения версий документов, которое доступно на вкладке *Рецензирование* и при выборе пункта меню *Сравнить | Сравнить...*

Просмотр разных фрагментов одного текста в одном окне

Проблема. Необходимо открыть в одном окне два фрагмента одного текста, чтобы скорректировать один фрагмент в зависимости от содержания другого.

Решение заключается в выборе вкладки *Вид* и пункта меню *Разделить*.

Предложенные решения перечисленных проблем не являются единственными, благодаря гибкости Word. Возможно читателю известны более эффективные решения.

Назначение пунктам меню или операциям сочетаний клавиш

Чтобы повысить скорость редактирования текста, рекомендуется назначить наиболее часто используемым пунктам меню и операциям сочетания клавиш, выполнив следующие действия:

- выбрать вкладку *Файл*;
- выбрать пункт меню *Параметры*;
- в открывшемся окне выбрать пункт меню *Настройка ленты*;
- в нижней части окна нажать кнопку *Настройка...* рядом с надписью *Сочетания клавиш*.

Заключение

Все перечисленные решения можно также реализовать в предыдущих версиях текстового процессора Microsoft Word 2010. Пункты меню, указанные в решении, будут отличаться от пунктов более ранних версий текстового процессора Microsoft Word 2010, но сочетания клавиш и названия полей останутся теми же самыми.

Другие возможности текстового процессора Microsoft Word приведены в учебном пособии [1] и учебнике [2].

Библиографический список

1. Работа с текстовым процессором MS Word: учеб. пособ. для вузов / Г. А. Новиков, П. А. Новиков, М. В. Орлова, А. Н. Пылькин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 198 с.
2. Информатика и программирование. Основы информатики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Н. И. Парфилова, А. В. Пруцков, А. Н. Пылькин, Б. Г. Трусов; под ред. Б. Г. Трусова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 256 с. – (Сер. Бакалавриат).

УДК 621.391; ГРНТИ 47.05.17

ЭФФЕКТ НАЛОЖЕНИЯ ПРИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ

Р.В. Овчинников, В.В. Костров

*Муromский институт (филиал) Владимирского государственного университета
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
Россия, Муrom, vvk@mit.ru*

Аннотация. В данной работе исследован эффект наложения спектров. Рассмотрено влияние выбора частоты дискретизации на параметры сжатого сигнала с линейной частотной модуляцией.

Ключевые слова. Дискретизация, наложение спектров, частота дискретизации, ЛЧМ сигнал, уровень боковых лепестков, частота Доплера.

ALIASING WHEN SAMPLING CONTINUOUS SIGNAL

R.V. Ovchinnikov, V.V. Kostrov

*Murom Institute (branch) of Vladimir State University
behalf of A.G. and N.G. Stoletov
Russia, Murom, vvk@mit.ru*

Abstract. In this work the effect of imposing of ranges is researched. Influence of a choice of sampling rate on the chirp signal parameters is considered.

Keywords. Sampling, aliasing effect, sample rate, chirp signal, side lobe level, Doppler frequency

Введение

В процессе дискретизации аналоговых сигналов на практике возникает проблема, связанная с потерей информации при преобразовании аналогового сигнала. Одной из причин появления дополнительных искажений является решетчатое представление исходного сигнала, которое при некорректном выборе интервала дискретизации может привести к целому спектру нежелательных последствий в дальнейшей обработке. Как правило, рассмотрение этих эффектов ограничивается качественным описанием [1]. Целью данной работы является исследование эффекта наложения при дискретизации многочастотного аналогового сигнала, выбор оптимальной частоты дискретизации и исследование влияния частоты дискретизации на параметры сжатого сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ).

Возникновение эффекта наложения

Спектр сигнала после дискретизации состоит из суммы спектров исходного непрерывного сигнала, которые сдвинуты по оси частот относительно друг друга на величину, равную частоте дискретизации $f_d = 2\pi/T$. Для более рационального использования частотного ресурса и снижения требований к быстродействию аппаратуры цифровой обработки сигналов стремятся уменьшить частоту дискретизации. В этом случае составляющие спектра дискретного сигнала сближаются, плотность спектра возрастает. При этом, если частота не удовлетворяет условиям теоремы В.А. Котельникова, то происходит эффект наложения – смежные спектры дискретизированного сигнала частично перекрываются. Для реального сигнала условие теоремы В.А. Котельникова имеет вид $f_d \geq 2f_{\max}$, где f_{\max} – верхняя частота спектра аналогового сигнала. В спектрах с эффектом наложения наблюдается сворачивание верхних частот спектра аналогового сигнала, выходящих за основную полосу частот дискретного сигнала $\pm f_d/2$. Сворачивание внутрь этой полосы происходит путем однократного (если $f_d/2 < f_{\max} < f_d$) или многократного (если $f_{\max} > f_d$) их зеркального отражения от ее границ. Если по тем или иным причинам наложение спектров произошло, то в дальнейшем при работе с данным спектром восстановление и обработка сигнала по его дискретным выборкам будет происходить с ошибками.

Во временной области эффект наложения спектров проявляется в виде появления дополнительных колебаний с пониженной частотой [1]. Так например, дискретизация гармонического сигнала с частотой f_0 , $f_d/2 < f_0 < f_d$, приведет к появлению во временной области дискретной последовательности, огибающая которой имеет частоту $f_d - f_0$. Если частота исходного сигнала не известна, то дискретизация в условиях проявления эффекта наложения спектров приводит к появлению сигнала с ложной частотой.

При дискретизации сигналов с финитным спектром требования теоремы В.А. Котельникова относятся к полосе сигнала, появляется возможность снижения f_d . Предельно допустимым является значение частоты дискретизации $f_d = 2 \cdot (f_{\max} - f_{\min})$. В этом идеальном случае должно выполняться условие, когда ширина спектра сигнала $\Delta f_s = f_{\max} - f_{\min}$ целое число раз укладывается на интервале $[0, f_{\min}]$ (или $[0, f_{\max}]$). Таким образом, для выбора допустимой частоты дискретизации f_d и зон дискретизации можно получить условие

$$\frac{2f_{\max}}{q} \leq f_d \leq \frac{2f_{\min}}{q-1}, \quad (1)$$

где $q = 1, 2, \dots, q_{\max}$ – номер зоны;

$$q_{\max} = \text{int} \left\langle \frac{f_{\max}}{f_{\max} - f_{\min}} \right\rangle;$$

$\text{int}(\ast)$ – целая часть числа.

Для иллюстрации влияния эффекта наложения проведено математическое моделирование вещественного низкочастотного сигнала, состоящего из 10 гармоник. При исследовании были взяты следующие граничные частоты спектра сигнала: $f_{\min} = 0,2$ кГц, $f_{\max} = 5$ кГц, гармоники равномерно распределены между частотами f_{\min} и f_{\max} , а амплитуда гармоник линейно возрастает при увеличении частоты. Тогда частота дискретизации по теореме В.А.Котельникова составляет $f_d = 10$ кГц. На рисунке 1 (ось частот в кГц) представлен основной участок спектра сигнала при f_d , соответствующей теореме В.А. Котельникова. Если взять частоту дискретизации из промежутка $(f_{\max}; 2f_{\max})$, то происходит наложение смежных участков спектра (рис. 2, полученный для $f_d = 7$ кГц). На рисунке 2 наглядно продемонстрировано зеркальное отражение при сворачивании верхних частот спектра из-за несоответствия f_d оптимальной по В.А. Котельникову.

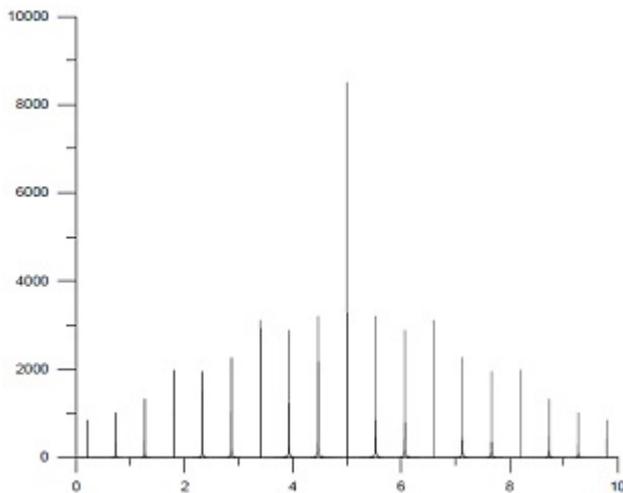


Рис. 1. Спектр сигнала (f_d выбрана по теореме В.А. Котельникова)

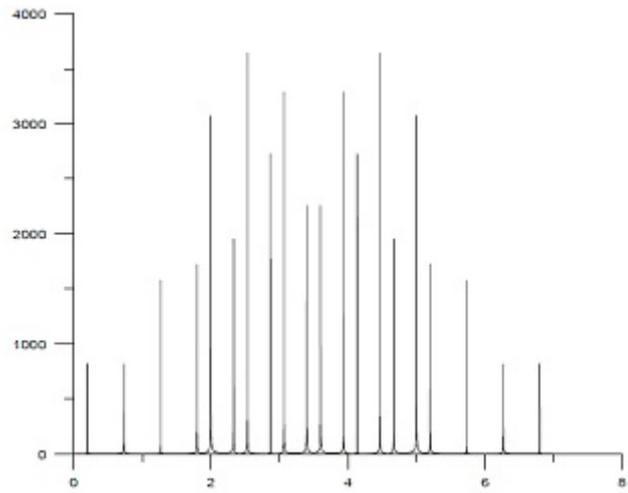


Рис. 2. Спектр сигнала (f_d в пределах от f_{\max} до $2f_{\max}$)

Для более детального рассмотрения проявления эффекта наложения во временной области был взят гармонический сигнал с частотой $f = 5$ кГц (рис. 3А, сплошная линия). Штриховой линией приведен тот же сигнал после дискретизации с $f_d = 5,7$ кГц. Нетрудно заметить, что частота сигнала стала значительно ниже и существенно отличается от исходной. На рисунке 3Б представлена осциллограмма сигнала после дискретизации с частотой $f_d = 9,5$ кГц. Результат дискретизации сигнала имеет характер биений, свидетельствующий о взаимодействии двух гармонических сигналов: исходного и возникающего в процессе дискретизации сигнала с частотой $f - 0,5 \cdot f_d$. При более сложном спектральном составе продуктов нелинейного преобразования будет существенно больше.

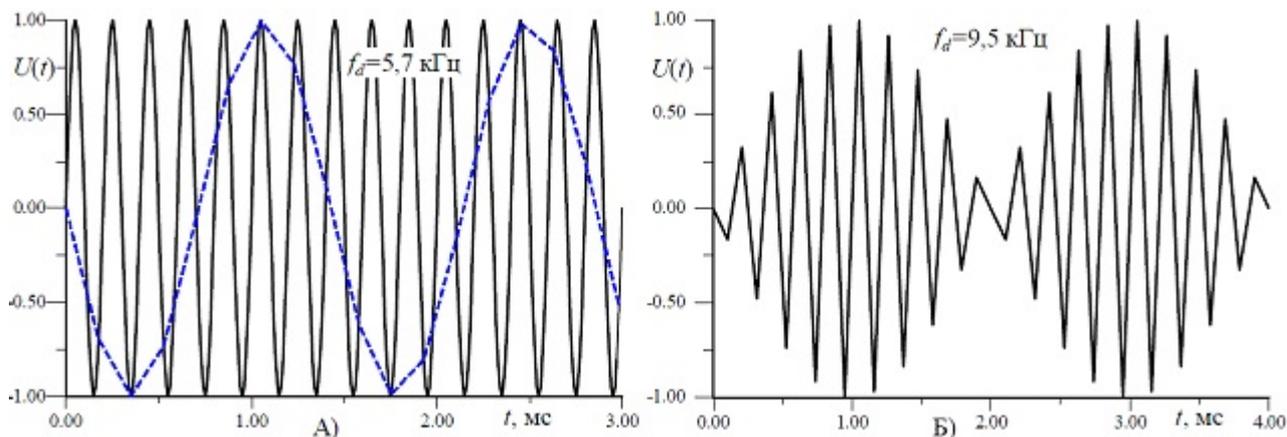
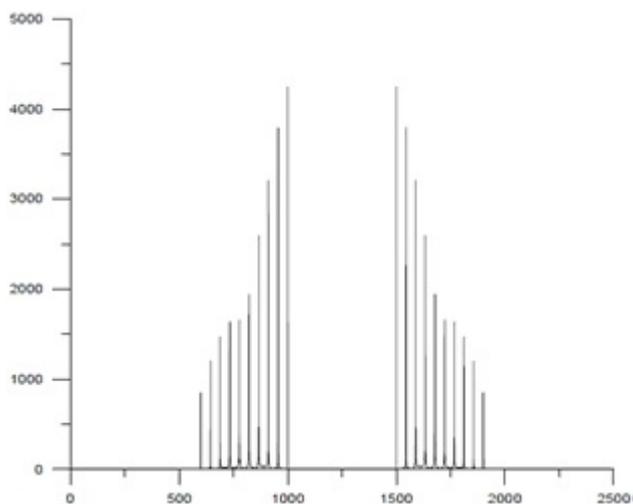
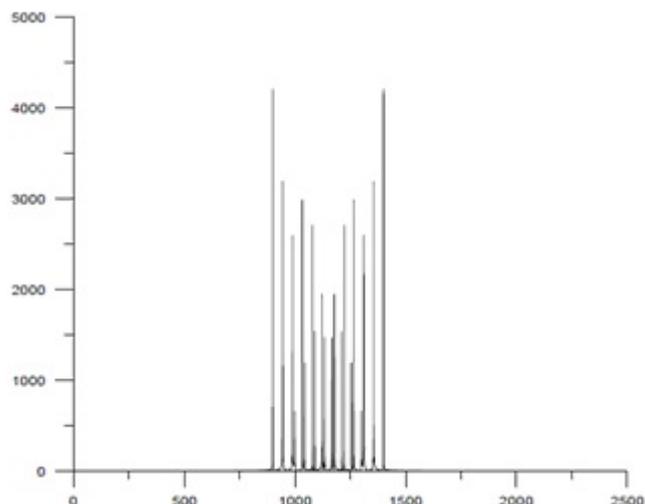


Рис. 3. Эффект наложения спектров во временной области

Также представляет интерес проследить влияние наложения спектров в случае узкополосного сигнала, в качестве модели которого взят сигнал с граничными частотами $f_{\min} = 5600$ кГц, $f_{\max} = 6000$ кГц. Выбор f_d производился по (1) для номера зоны дискретизации $q = 5$. Для этой зоны частота дискретизации может находиться в пределах

$$2400 \leq f_d \leq 2800. \quad (2)$$

Рис. 4. Спектр узкополосного сигнала; f_d входит в рассчитанный диапазон (2)Рис. 5. Спектр узкополосного сигнала; f_d вне расчетного диапазона (2)

На рисунке 4 приведен спектр дискретного сигнала при дискретизации с $f_d = 2,5$ МГц, входящей в рассчитанный диапазон. График показывает, что наложение смежных полос спектра отсутствует. Если выбрать f_d вне диапазона, например 2,3 МГц, получаем иной результат (рис. 5): налицо перемежение спектров. В рассмотренном примере использованная частота дискретизации, равная 2,5 МГц, позволила в 4,8 раза снизить тактовую частоту по сравнению с необходимой частотой дискретизации Найквиста.

Влияние эффекта наложения спектра на сжатый ЛЧМ сигнал

Количественная оценка влияния эффекта наложения на цифровую обработку сигналов проведена на модели сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), методика формирования которой изложена в [2]. Результаты математического моделирования приведены на

рис. 6 – 9, где представлены зависимости основных параметров сжатого ЛЧМ сигнала (длительности основного лепестка, длительности по первым нулям, уровня боковых лепестков, чувствительности к эффекту Доплера). Моделирование проводилось при девиации частоты W , равной 2,5 кГц, и несущей частоте сигнала F , равной 5 кГц.

На графике (рис. 6) наблюдается практически прямая зависимость длительности отклика от f_d . При измерении длительности по первым нулям (рис. 7) прослеживается значительный разброс значений вплоть до f_d , равной несущей частоте. Это объясняется тем, что из-за эффекта наложения спектров при $f_d \leq W$ образуются дополнительные сигналы, расположенные симметрично относительно центрального пика и имеющие такую же структуру, как основной лепесток. Место их возникновения и, следовательно, ширина лепестка у основания зависит от соотношения между f_d и W . При превышении частоты дискретизации значения центральной частоты ширина главного лепестка у основания растет практически линейно. Существенного снижения длительности главного лепестка и по первым нулям можно, если не переходить к вычислению модуля и использовать фазовую структуру сигнала.

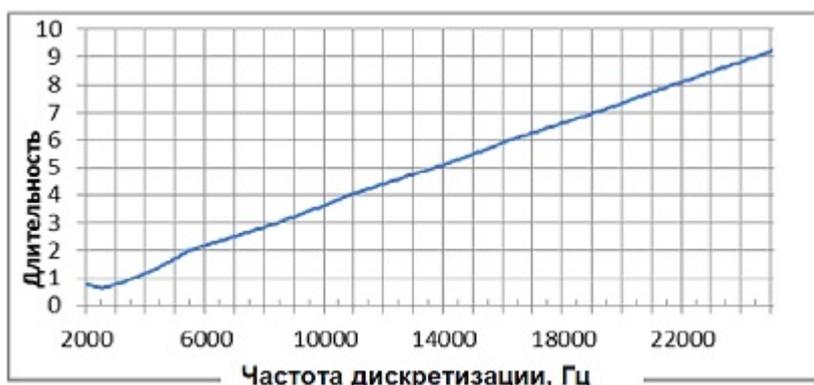


Рис. 6. Длительность отклика на уровне минус 3 дБ



Рис. 7. Длительность отклика по нулям по первым провалам

Анализ изменения уровня боковых лепестков (УБЛ) (рис. 8) показывает, что наибольшие провалы наблюдаются в точках, где f_d имеет кратность девиации частоты. Исходя из оказываемого влияния частоты Доплера на уровень УБЛ сигнала с f_d , равной 10 кГц (рис. 9), можно сделать вывод о необходимости учета эффекта Доплера при выборе f_d .

Рис. 8. Уровень УБЛ в зависимости от f_d 

Рис. 9. Зависимость уровня УБЛ от частоты Доплера

Выводы

Таким образом, для устранения эффекта наложения выбор частоты дискретизации должен основываться на соответствии условию по теореме В.А. Котельникова или по результатам расчета с учетом зон дискретизации. Продукты преобразования сигналов, получающиеся в результате наложения спектров, могут давать неочевидные результаты в виде мощных дополнительных гармоник, повышающих нелинейные искажения полезного сигнала на выходе системы ЦОС. В частности, антиалайзинговые фильтры ставятся не только для ограничения спектра исходного сигнала, но и для подавления нежелательных гармоник – продуктов от эффекта наложения спектра – при формировании квадратурных составляющих сигнала. Так же при выборе частоты дискретизации следует учитывать увеличение максимальной частоты сигнала с появлением эффекта Доплера.

Библиографический список

1. Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. – М.: Техносфера, 2010. – 328 с.
2. Овчинников Р. Исследование методов формирования и обработки сложных сигналов с частотной модуляцией // IX Всероссийские научные Звьякинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2017. – С.491-492.

УДК 004.93:612.2; ГРНТИ 200177

ОБОСНОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЫБОРА ШИРИНЫ ОКНА СПЕКТРОГРАММЫ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ КАШЛЯ

Г.В. Абрамов*, Л.А. Коробова**, И.А. Матыцина**

* Воронежский государственный университет

Россия, Воронеж, agwl@yandex.ru

** Воронежский государственный университет инженерных технологий

Россия, Воронеж, lyudmila_korobova@mail.ru, irina210390@mail.ru

Аннотация. Рассматривается эксперимент распознавания звуковых сигналов кашля, при разных значениях ширины окна спектрограммы.

Ключевые слова. Спектрограмма, распознавание, кашель, звуковые сигналы.

JUSTIFICATION AND ANALYSIS OF THE SELECTION OF THE WIDTH OF THE SPECTROGRAM WINDOW FOR RECOGNITION OF SOUND SIGNALS OF THE CLEAR

G.V. Abramov *, L.A. Korobova **, I.A. Matytsin **

* Voronezh State University

Russia, Voronezh, agwl@yandex.ru

** Voronezh State University of Engineering Technology

Russia, Voronezh, lyudmila_korobova@mail.ru, irina210390@mail.ru

Abstract. The experiment of recognition of cough sound signals is considered, for different values of the width of the spectrogram window.

Keywords. Spectrogram, recognition, cough, sound signals.

Введение

Для оказания помощи в поддержке решения лечащему врачу при диагностике и лечении пациентов страдающих легочными заболеваниями была разработана информационная система распознавания звуковых сигналов кашля.

Для точности распознавания звуковых сигналов кашля необходимо решить следующие задачи:

- определить признаки соответствующие звуковым сигналам кашля;
- рассмотреть параметры каждого критерия и определить наилучшие;
- определить параметры каждого критерия, позволяющего проводить обработку звуковых сигналов и разделять их на кашель/шум
- сформировать комплекс правил позволяющих отделять звуковые сигналы кашля от шумов.

Обоснование и анализ выбора ширины окна спектрограммы

В данной статье, будет рассмотрена серия эксперимента для определения и выбора ширины окна спектрограммы для улучшения распознавания звуковых сигналов кашля.

Значение ширины окна спектрограммы рассчитывается по формуле представленной ниже:

$$w = 2^n,$$

где w – ширина окна спектрограммы.

Для определения нужной ширины окна спектрограммы, при котором результат распознавания звуковых сигналов кашля был выше и потеря звуковых отрезков кашля была ниже проведен эксперимент. Применены описанные выше правила вывода, в которых изменялось значение окна спектрограммы – 8, 16, 32 и 64.

Использовалось 5 правил вывода с различными параметрами, в том числе и разной шириной окна спектрограммы.

Применив первое правило, получили результат по проценту найденных кашлей из всего количества звуковых отрезков кашлей (рис. 1).

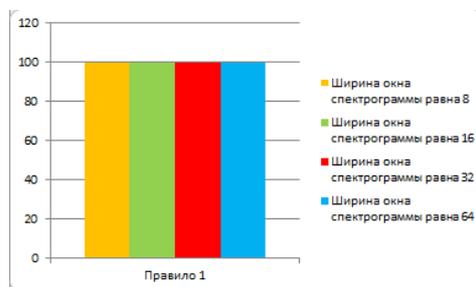


Рис. 1. Процент найденных кашлей из всех звуковых отрезков кашлей при первом правиле

Как видно из рисунка при всех значениях ширины окна спектрограммы результативность нахождения всех звуковых отрезков кашля составляет 100%.

При втором правиле – результат представлен на рисунке 2.

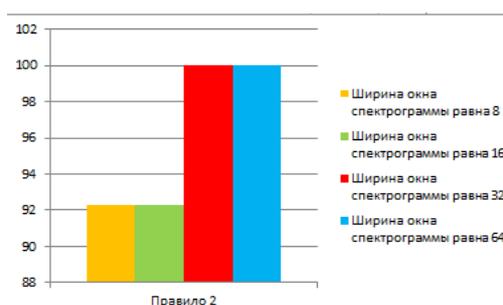


Рис. 2. Процент найденных кашлей из всех звуковых отрезках кашлей при втором правиле

По результатам выполнения второго правила при ширине окна спектрограммы равного 8 и 16 процент нахождения звуковых отрезков кашля составляет 92.3 теряется 1 кашель, а при ширине окна спектрограммы равно 32 и 64 – 100%.

При третьем – рисунок 3.

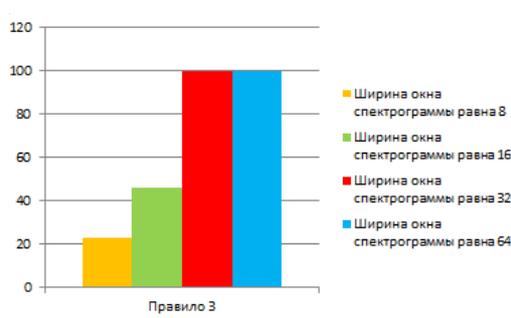


Рис. 3. Процент найденных кашлей из всех звуковых отрезков кашлей при третьем правиле

Исходя из полученных данных при ширине окна спектрограммы равной 8 процент нахождения кашлей из всего количества звуковых отрезков кашля составляет 23.1%, при этом потеря составляет – 10 кашлей.

При ширине окна спектрограммы равной 16 – 46.2%, потеря – 7 кашлей.

При ширине окна спектрограммы равной 32 и 64 процент нахождения кашлей составляет, как и предыдущих двух правилах 100%.

Применив четвертое правило, получили результат, представленный на рисунке 4.

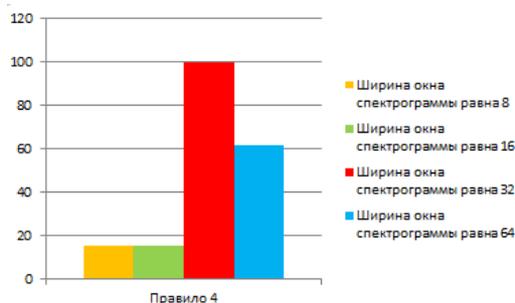


Рис. 4. Процент найденных кашлей из всех звуковых отрезков кашлей при четвертом правиле

В результате работы четвертого правила видно, что при ширине окна спектрограммы равной 8 и 16 – процент распознавания кашлей составляет 15.4%, потер кашлей, в количестве 11 штук.

При ширине окна спектрограммы 32 – результат распознавания кашлевых фрагментов – 100%.

При 64 – 61.5%, потер звуковых сигналов кашля – 5 штук.

И результат работы при пятом правиле представлен на рисунке 5.

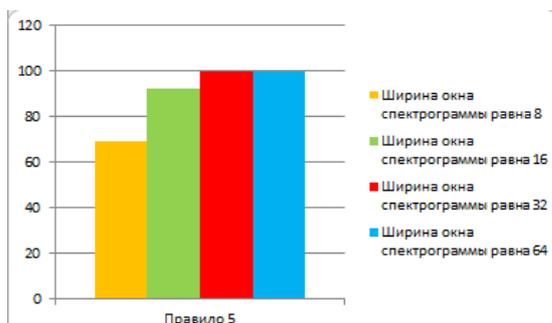


Рис. 5. Процент найденных кашлей из всех звуковых отрезков кашлей при пятом правиле

На рисунке 4.7 видно, что при ширине окна спектрограммы равной 8 процент распознавания кашлей составляет 69.2%, потеря кашлей – 4 штуки.

При ширине окна спектрограммы равной 32 распознавание звуковых отрезков кашля составляет 92.3%, потеря 1 кашель.

При ширине равно 32 и 64 – процент распознавания составляет 100%.

Приведем все полученные результаты в одну диаграмму (рис.6).

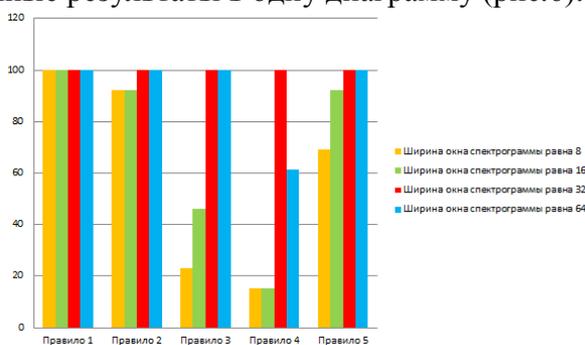


Рис. 6. Процент найденных кашлей из всех звуковых отрезков кашлей по всем правилам

Выводы

Рассмотрев полученные результаты, приходим к выводу, что самой лучшей шириной окна спектрограммы является 32, т.к. при выполнении всех правил не выявлено ни одной потери звукового отрезка кашля. Результативность при других вариантах ширины окна спектрограммы значительно ниже, а потеря кашлевых отрезков – выше.

Библиографический список

1. Абрамов Г.В., Коробова Л.А., Матыцина И.А. Разработка правил вывода при распознавании звуковых сигналов [Текст] / Г.В. Абрамов, Л.А. Коробова, И.А. Матыцина // материалы IV международной научно-практической конференции Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки – н.-и. ц. «Академический», 2014. – С. 145.
2. Абрамов Г.В., Овсянников Е.С., Коробова Л.А., Матыцина И.А. Разработка информационной системы для диагностики состояния больных легочными заболеваниями [Текст] / Г.В. Абрамов, Е.С. Овсянников, Л.А. Коробова, И.А. Матыцина // Международная научная Интернет-конференция: материалы конференции в двух томах. Сервис виртуальных конференций Рах Grid, 2013. – С. 4-10.
3. Абрамов Г.В., Коробова Л.А., Ивашин А.Л., Матыцина И.А. Анализ и использование математических методов для распознавания звуковых сигналов [Текст] / Г.В. Абрамов, Л.А. Коробова, А.Л. Ивашин, И.А. Матыцина // Вестник Воронежский государственный университета инженерных технологий, 2015, №64 – С. 61.

УДК 519.254; ГРНТИ 004.021

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ СОГЛАСИЯ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ С УЧЕТОМ ОТБОРА ОДНОРОДНЫХ ГРУПП ЭКСПЕРТОВ

О.А. Ломакина*, А.Н. Кабанов*, Н.В. Дорошина**

* Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, loa94@yandex.ru

** Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова,
Россия, Рязань, mfmi@rzgmu.ru, ndoroshina@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен метод получения для каждого критерия области допустимых значений в виде системы линейных неравенств и повышения оперативности анализа на основе исключения лишних неравенств при построении области согласия, а также проводится отбор однородных групп экспертов на основе метода попарного сравнения.

Ключевые слова. Область решения, многокритериальный анализ, матричные преобразования, однородные группы, область согласия.

FORMATION OF THE CONSENT AREA WITH MULTI-CRITERIAL ANALYSIS AND DECISION-MAKING TAKING INTO ACCOUNT THE SELECTION OF HOMOGENEOUS GROUPS OF EXPERTS

O.A. Lomakina*, A. N. Kabanov*, N.V. Doroshina**

* Ryazan State Radioengineering University,
Russia, Ryazan, loa94@yandex.ru

** Ryazan State Medical University named after I.P.Pavlov,
Russia, Ryazan, mfmi@rzgmu.ru, ndoroshina@mail.ru

Abstract. The method of obtaining for each criterion a region of admissible values in the form of a system of linear inequalities and an increase in the efficiency of analysis on the basis of the elimination of superfluous inequalities in the construction of the agreement region, and a selection of homogeneous groups of experts based on the pairwise comparison method is considered.

Keywords. Solution domain, multicriteria analysis, matrix transformations, homogeneous groups, consensus domain.

Введение

Задача многокритериального анализа и принятия решений возникает, когда присутствует несколько вариантов действий (альтернатив) для достижения заданного или желаемого результата. При этом требуется выбрать наилучшую, в определенном смысле, альтернативу. Под критерием будем понимать способ оценки и сравнения некоторого качества анализируемых альтернатив (вариантов) решения [1]. Существенные трудности для исследователя вызывают наличие большого числа ограничений и вариантов решения. Поэтому для повышения оперативности многокритериального анализа лишние данные желательно исключать. Это позволит провести более развернутый анализ решений при различных критериях, а также значительно повысить оперативность получения решения. Многомерные объекты исследования присутствуют в любой социально-экономической сфере, поэтому решение задачи многокритериального анализа применительно к ним является особенно важным. В докладе рассматривается количественный вариант многокритериального анализа.

Основная часть

Пусть в пространстве размерности N имеется M объектов. Предлагается последовательная процедура многокритериального анализа данных: построение областей допустимых параметров для каждого критерия, построение области согласия, определение оптимума номинала и формирование однородных групп экспертов.

1. Графическое представление объектов исследования - построение выпуклой области для многомерных объектов методом гиперплоскостей.

Метод гиперплоскостей заключается в последовательном включении каждой граничной точки (объекта) в выпуклую оболочку и в исключении гиперплоскостей, оказавшихся внутри области. После перебора всех граничных точек процесс построения области работоспособности заканчивается, определяются уравнения гиперплоскостей для выпуклой оболочки и производится определение знаков « \geq » « \leq » для окончательной системы линейных неравенств, описывающих исходную область данных [2].

2. Алгоритм предварительного решения системы линейных неравенств и исключения лишних неравенств.

Вопрос о строении множества решений произвольной совместной системы неоднородных линейных неравенств

$$a_{j1}X_1 + a_{j2}X_2 + \dots + a_{jn}X_n - a_j \leq 0, \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

может быть сведен к поиску общей формулы решений системы однородных линейных неравенств

$$\begin{aligned} a_{j1}X_1 + a_{j2}X_2 + \dots + a_{jn}X_n - a_j X_{n+1} \leq 0, \quad j = \overline{1, m}, \\ -X_{n+1} \leq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Действительно, если известна общая формула решений системы (2), то при $X_{n+1} = 1$ из нее получаем решение для исходной системы (1). Поэтому основное внимание в докладе при анализе решений уделено системе (2).

Алгоритм и вычислительная схема для нахождения общей формулы неотрицательных решений системы (2) сводятся к последовательным однотипным преобразованиям таблицы

части ребер графа по критерию минимальной суммарной дисперсии классов. Для разбиения множества элементов на « K » классов удаляются « $K-1$ » ребер [4].

При увеличении размерности матрицы A , число измерений растёт, что обеспечивает устойчивость \bar{w} . На основе оценок многих экспертов определяют кратчайшее остовное дерево и производят разбиение на однородные группы экспертов. Для решения этой задачи можно также применять метод Прима.

Таким образом, получена система линейных неравенств из реальных данных (тестирование студентов на быстроту реакции). Просчитаны координаты центров областей и выявлены эталонные представители групп. Реализован пример разбиения группы экспертов на однородные группы из имеющихся данных. Предложена последовательная процедура, позволяющая повысить оперативность и точность многокритериального анализа данных с учетом однородных экспертных оценок. Достоинство этой процедуры состоит в том, что она состоит из несложных шагов и известных алгоритмов, реализовать которые можно в общедоступных программах – MS Excel, Deductor, MatLab, MathCad. Решение задачи анализа данных проводится для многомерных объектов исследования, что является важным в социальной и экономической сферах.

Библиографический список

1. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2000.
2. Авачева Т.Г., Дорошина Н.В., Кабанов А.Н. Разбиение дискретного конечного множества элементов на основе метода оптимума номинала выпуклой области Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017 [текст]: сб. тр. II междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 8 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017; Рязань. – 292 с.- С. 271-275.
3. Diaby V., Campbell K., Goeree R. Multi-criteria decision analysis (MCDA) in health care: A bibliometric analysis. *Operations Research for Health Care*. 2013; 2: 20–24.
4. Методы интеллектуальной обработки данных: учебное пособие/ Т.Г. Авачева [и др.]; РязГМУ им. акад. И.П. Павлова. – Рязань: РИО РязГМУ, 2016. – 108 с.

УДК 519.711.74

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Д.О. Акимов, С.Л. Яблочников

*Московский технический университет связи и информатики,
Россия, Москва*

Аннотация. Рассматриваются некоторые аспекты обеспечения точности прогнозирования потребления электрической энергии на промышленном предприятии с применением различных типов нейронных сетей, а также соответствующие алгоритмы и реализующие их программные средства.

Ключевые слова. Прогнозирование производственных процессов, экономия технологических ресурсов, математическое моделирование, нейронные сети.

ENSURING THE ADEQUACY OF FORECASTING THE CONSUMPTION OF ELECTRICAL ENERGY USING OF NEURAL NETWORKS

D. Akimov, S. Yablochnikov

*Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Russia, Moscow*

Annotation. Some aspects of ensuring the accuracy of forecasting the consumption of electrical energy in an industrial enterprise with the use of various types of neural networks are considered, as well as the corresponding algorithms and the software that implements them.

Keywords. Forecasting of production processes, saving of technological resources, mathematical modeling, neural networks.

Введение

В условиях рыночной экономики весьма актуальным является управление процессами потребления технологических ресурсов, в частности электроэнергии, с целью обеспечения их экономии. Существуют различные подходы к решению данной задачи [1–3]. Один из них предвидит использование математических моделей, базирующихся на нейронных сетях, для реализации как краткосрочного, так и долгосрочного прогноза. В частности, результаты подобных исследований были представлены в ряде научных публикаций Науменко Д.О., Беловым К.Д., Политовым Е.А., Карякиным А.Л., Казариновым Л.С., Барбасовой Т.А., Колесниковой О.В., Захаровой А.А., Чернецовым В.А., Казаковским Е.Н., Гофманом А.В., Ван Эфеном, Колоколовым М.В. и другими [4 – 10]. Однако, данными учёными, как правило, рассматривалось функционирование лишь одного типа нейронной сети – многослойного персептрона. А так как в последние несколько лет данная технология развивалась высокими темпами, то для реализации прогнозирования стало возможным использование и других типов нейронных сетей, в частности, так называемой сети долгой краткосрочной памяти (LSTM – Long Short Term Memory).

2. Прогноз потребления электроэнергии на базе нейронных сетей

Авторами данной публикации предлагается, для осуществления прогнозов в сфере потребления электроэнергии на базе нейронных сетей, использовать метод скользящего окна. Ранее такой тип моделирования применялся в области финансов, а его теоретическая основа – теорема Такенса. Она утверждает, что для любого временного ряда существует такая глубина погружения, которая позволяет спрогнозировать значение в следующий его отсчёт. Нами сформулировано гипотезу о том, что указанная выше теорема и ее следствия могут быть успешно применены и для реализации прогноза, основанного на временном ряде значений относительно потребления электроэнергии.

Для синтеза средств прогнозирования потребления электроэнергии нами был использован язык программирования высокого уровня Python и библиотеки нейросетевого моделирования TensorFlow и Keras [11]. Для загрузки данных применяется библиотека Pandas [12], а для построения графиков – Matplotlib [13]. Система прогнозирования состоит из прогнозного модуля и CSV файла, из которого производится загрузка данных. Исходными данными для данной задачи является статистика потребления электроэнергии группой промышленных предприятий США в период с января 1973 г. по май 2017 г., представленные в частности в публикации [14]. В первоисточники данные представлены в британских термических единицах, поэтому нами был реализован их перевод в систему СИ (т.е. в МВтч). На рис. 1 представлена выборка за пять лет в период с 2012 по 2016 гг.



Рис.1 График потребления электроэнергии промышленными предприятиями в период с 2012 по 2016 гг.

Далее реализуется загрузка данных, их преобразование и нормализация, которая осуществляется по следующей формуле:

$$x' = \frac{x - \min(X)}{\max(X) - \min(X)}, \quad (1)$$

где x' – нормализованное значение;
 x – исходное значение;
 $\max(X)$ – максимальное значение признака в наборе данных;
 $\min(X)$ – минимальное значение признака в наборе данных.

Исходя из формулы, шкалирование производится в границах [0;1]. Ниже представлен листинг программы, реализующей указанные выше действия.

```
dataframe = read_csv('electricity-consumption-delimeter.csv', usecols=[1], engine='python')
dataset = dataframe.values
dataset = dataset.astype('float32')
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
dataset = scaler.fit_transform(dataset)
```

Процедура преобразования исходного набора данных в матрицу для обучения с учителем, где переменная `look_back` отвечает за размер входного окна имеет вид:

```
def create_dataset(dataset, look_back):
    dataX, dataY = [], []
    for i in range(len(dataset)-look_back-1):
        a = dataset[i:(i+look_back), 0]
        dataX.append(a)
        dataY.append(dataset[i + look_back, 0])
    return numpy.array(dataX), numpy.array(dataY)
```

Следующий этап – разделение набора данных на обучающую и тестирующие выборки в соотношении 2 к 1 и их преобразование в матрицы. В качестве оценки точности прогнозирования применим среднеквадратичную ошибку. Вследствие использования прогнозной модели с различными параметрами, указанными в таблице 1, были получены следующие результаты:

Таблица 1. Средние значения среднеквадратичной ошибки (RMSE) эмпирических данных для различных топологий нейронной сети с нормализацией

Топология сети	8-8-1	12-12-1	16-16-1	8-12-1
Среднее RMSE на обучающей выборке	32,64	34,52	34,83	32,30
Среднее RMSE на тестовой выборке	25,58	26,12	26,62	25,33

Также был построен график, отображающий точность прогноза на всем наборе данных, изображённые на рисунке 2.

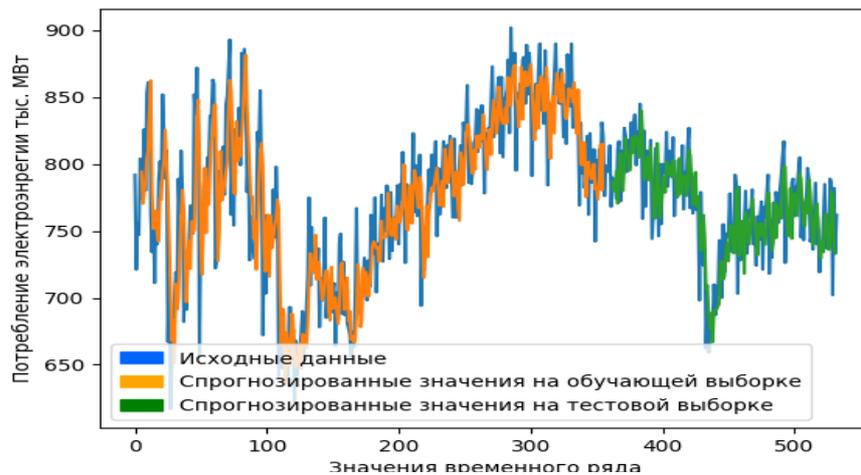


Рис. 2. Результаты применения разработанной авторами прогнозной модели

Изменим тип нейронной сети на сеть долгосрочной краткосрочной памяти и повторим эксперимент. Ниже представлен программный код задания LSTM сети.

```

model = Sequential()
model.add(LSTM(first_layer_neurons, input_shape=(1, look_back), return_sequences=True))
model.add(Activation(activation_function))
model.add(LSTM(second_layer_neurons, input_shape=(1, look_back), return_sequences=True))
model.add(Activation(activation_function))
model.add(Flatten())
model.add(Dense(1))

```

Результаты прогнозирования, которые были нами получены вследствие применения разработанных средств представлены в таблице 2.

Таблица 2. Средние значения среднеквадратичной ошибки (RMSE) эмпирических данных для различных топологий LSTM нейронной сети с нормализацией

Топология сети	8-8-1	12-12-1	16-16-1	8-12-1
Среднее RMSE на обучающей выборке	33,87	33,06	33,52	33,68
Средне RMSE на тестовой выборке	25,31	25,58	25,02	24,96

Второй этап исследования – проверка зависимости точности прогнозирования от ширины входного окна. Как говорилось ранее, для временных финансовых рядов существует такая глубина погружения, что можно точно предсказать следующее его значение. Поэтому предположим, что данное утверждение будет истинным и для временных рядов потребления электроэнергии. Если утверждение верно, что с увеличением ширины входящего окна среднеквадратичная ошибка будет уменьшаться. Для проведения исследования используем LSTM нейронную сеть. Будем увеличивать размер входного окна в промежутке [5; 24] для эмпирического набора данных. В таблице 3 представлены результаты зависимости среднеквадратичной ошибки от ширины входного окна для эмпирических данных при топологии сети 8-12-1.

Таблица 3. Зависимость среднеквадратичной ошибки от ширины входного окна

Ширина окна	5	8	12	15	18	21	24
Среднее RMSE на обучающей выборке	33,68	32,74	23,76	24,39	22,82	20,65	21,5
Средне RMSE на тестовой выборке	24,96	24	21,24	19,82	19,3	19,31	17,96

На рисунке 3 представлен график зависимости среднеквадратичной ошибки от размера входного окна.

Информация, представленная на данном графике, позволяет сделать вывод о том, что с увеличением размера входящего окна уменьшается среднеквадратичная ошибка, а следовательно, увеличивается точность прогнозирования. Также обратим внимание на то, что наибольшее уменьшение RMSE происходит при размере окна равным двенадцати и двадцати четырём, это говорит о том, что прогнозируемое значение коррелирует с прошлогодним значением в том же месяце, а также со значением в этом же месяце двумя годами ранее.

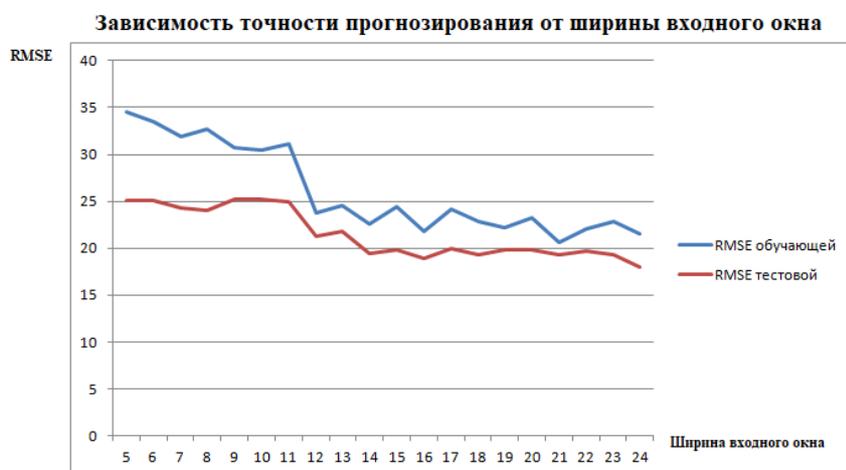


Рис. 3. Зависимость величины среднеквадратической ошибки от ширины входного окна

Таким образом в рамках данного исследования нами была синтезирована прогнозная модель потребления электроэнергии на основе нейронной сети. Проведя серию экспериментов, основанных на эмпирических данных, мы пришли к выводу, что сети долгой краткосрочной памяти позволяют получить более адекватные результаты, чем соответствующие сети типа многослойный персептрон. Это подтверждает нашу гипотезу относительно релевантности их применения. Кроме этого, в рамках данного исследования нами фактически была установлен характер зависимости точности прогнозирования потребления электроэнергии от ширины так называемого «входного окна». В частности, был сделан вывод о том, что с увеличением ширины «входного окна» существенно уменьшается величина среднеквадратической ошибки, а следовательно, увеличивается точность прогнозирования. Поэтому, вывод о том, что теорема Такенса применима не только к финансовым временным рядам, но и временным рядам значений потребления электроэнергии, является вполне логичным. Что и требовалось доказать.

Библиографический список

1. Акимов Д. О., Яблочников С. Л. Применение нейронных сетей для осуществления процесса прогнозирования потребления электроэнергии на производственных предприятиях // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 9 т. Т.4./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Р.: РГРУ, 2017. С. 41–46.

2. Яблочников С. Л., Яблочникова И. О. К вопросу синтеза адаптивных моделей учета и оптимизации запасов // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2016. № 3 (36). С. 37–41.
3. Яблочников С.Л. Математичне моделювання процесу розподілу обмежених ресурсів / М.Г. Акулов, С.М. Журук, С.Л. Яблочников // Застосування інноваційних технологій у підготовці фахівців з економіки, фінансів та права / Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Вінниця, 19 – 20 червня 2014 р.). – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. – С. 6 – 9.
4. Белов К.Д. Прогнозирование потребления электроэнергии фабрикой окускования горно-обогатительного комбината методом искусственных нейронных сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Магнитогорск, 2008.
5. Политов Е.А. Построение моделей долгосрочного прогноза потребления электроэнергии и мощности промышленными предприятиями: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Кемерово, 2012. 147 с.
6. Ван Ефэн. Методология совершенствования систем краткосрочного прогнозирования электропотребления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Спб., 2013. 135 с.
7. Гофман А.В. моделирование электропотребления многоименклатурного предприятия для краткосрочного прогнозирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Самара, 2013.
8. Колоколов М.В. модели и алгоритмы прогнозирования для поддержки принятия решений при управлении электропотреблением промышленных предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Саратов, 2013.
9. Чернецов В. И., Казаковский Е. Н. Прогнозирование потребления электрической энергии с использованием нейронных сетей // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2006. №1.
10. Карякин А. Л., Дегтярёв Е. А. Прогнозирование потребления электроэнергии цехом агломерации на основе метода искусственных нейронных сетей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. №12.
11. Портал keras.io Документация Keras. Эл. ресурс: <http://keras.io/getting-started/faq/#why-is-the-training-loss-much-higher-than-the-testing-loss> (дата обращения: 30.01.2018 г.).
12. Портал pandas.pydata.org Документация Pandas. Эл. ресурс: <https://pandas.pydata.org/> (дата обращения: 30.01.2018 г.)
13. Портал matplotlib.org Документация Matplotlib. Эл. ресурс: <https://matplotlib.org/> (дата обращения: 30.01.2018 г.)
14. Эл. ресурс // Total Energy // U.S. Energy Information Administration URL: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/?tbl=T02.04#/?f=M&start=197301&end=201705&charted=12-5> (дата обращения: 25.01.18).

УДК 004.65; ГРНТИ 20.51.01

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ БАЗ ДАННЫХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Е.О. Храмшина

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, evgenia.khramshina@gmail.com*

Аннотация. В данной работе описана работа с базами данных большого объема на примере разработанной информационной системы.

Ключевые слова. Данные, база данных, база данных большого объема, обработка данных, лямбда-архитектура, Hadoop, информационная система.

INFORMATION SYSTEM FOR PROCESSING DATA BASES OF LARGE VOLUME

E.O. Khramshina

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, evgenia.khramshina@gmail.com*

Abstract. This paper deals with the implementation of how to process data bases of large volume and an example of an information system for this purpose.

Keywords. Data, data base, data bases of large volume, data processing, lambda-architecture, Hadoop, information system.

Введение

Сама по себе концепция баз данных большого объема возникла ещё во времена мэйн-фреймов в 1970-х годах [4]. Уже тогда начали задумываться над проблемой обработки информации и искать способы ее решения. По прогнозу IDC DigitalUniverse от 2012 года к 2020 году объемы информации возрастут до 7000 Эксабайт [4], и для их обработки старыми способами потребуется больше времени. Поэтому возникает необходимость разработки такого способа хранения данных, который позволил бы обработать большой объем информации за ограниченное время.

Примерами источников данных, для которых необходимы подобные методы могут быть: протоколы запросов пользователей к Интернет-ресурсу; данные, снимаемые с датчиков в большом адронном коллайдере; оцифрованные книги в Российской Государственной Библиотеке; информация о транзакциях всех клиентов банка; информация о покупках в крупной сети магазинов и т. д. [3].

В настоящее время трудно найти отрасль, где проблематика обработки баз данных больших объемов была бы неактуальной (некоторые из них рассмотрены в [5]). Например, применение в маркетинге позволяет бизнесменам узнавать потребности клиентов, оценивать их удовлетворенность услугами и продукцией [3].

Целью работы является разработка информационной системы для обработки базы данных большого объема.

Обзор существующих подходов к обработке данных большого объема

Для обработки баз данных больших объемов используют специальные языки (Hadoop, Python и т. п.), распределенные базы данных, проектирование систем на основе Лямбда-архитектуры и другие способы.

Рассмотрим более подробно некоторые из них.

Лямбда-архитектура. Основная идея лямбда-архитектуры состоит в построении систем для обработки баз данных больших объемов в виде последовательности уровней: уровня ускорения, уровня обслуживания и уровня пакетной обработки[1]. На уровне пакетной обработки хранится главная копия массива данных и предварительно вычисленные представления этого массива. Уровень обслуживания хранит пакетные представления, которые изменяются после изменения на уровне пакетной обработки.

Каждый раз, когда на уровне пакетной обработки завершается предварительное вычисление пакетного представления, на уровне обслуживания происходит обновление. Назначение уровня ускорения в том, чтобы это обновление происходило в режиме реального времени.

Hadoop. Используется для надежных, масштабируемых и распределенных вычислений, но может также применяться как хранилище файлов общего назначения.

Система Hadoop состоит из двух ключевых компонентов[6]:

1) Распределенная файловая система Hadoop (HDFS), отвечающая за хранение данных на кластере Hadoop. HDFS многократно копирует блоки данных и распределяет эти копии по вычислительным узлам кластера, тем самым обеспечивая высокую надежность и скорость вычислений:

2) Система MapReduce[2], предназначенная для вычислений и обработки больших объемов данных на кластере. Это модель программирования и каркас для написания приложений, предназначенных для высокоскоростной обработки больших объемов данных на больших параллельных кластерах вычислительных узлов.

Недостатками системы Hadoop являются высокая стоимость поддержки, невозможность реализации real-time систем[6].

Информационная программная система с использованием баз данных больших объемов

Большинство предложенных ранее методов обработки баз данных больших объемов предполагает изучение нового языка программирования и/или установку дорогостоящих программных продуктов. В связи с этим поддержка таких систем становится сложной и затратной.

Предлагается следующая архитектура информационной системы, изображенная на рисунке 1. Она основана на лямбда-архитектуре. Разрабатываемое приложение будет состоять так же из трех уровней: уровня приложения, сервисного уровня и уровня баз данных.

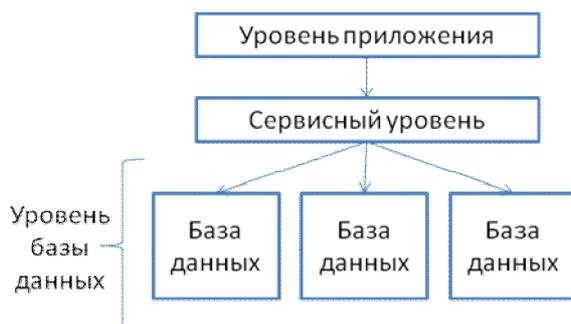


Рис. 1. Предлагаемая архитектура

Рассмотрим каждый из уровней более подробно.

Уровень приложения предназначен для взаимодействия программы и пользователя. Он лишь посылает такой запрос на сервисный уровень, какой он был бы, если бы он обращался не к нескольким однотипным базам, а к одной.

Сервисный уровень предназначен для взаимодействия уровня приложения и уровня баз данных. Получая обычный запрос от уровня приложения, он преобразует его в несколько запросов к нужным базам данных и посылает на те сервера, где каждая из них хранится. А уровню приложения возвращает результаты запроса в таком виде, как будто они взяты из единой базы.

Отличием предлагаемой архитектуры от лямбда-архитектуры является то, что данные хранятся в реляционной базе данных и создание нового запроса не вызывает особых сложностей.

Рассмотрим построение информационной системы на основе предложенной архитектуры для хранения транзакционных записей о покупках.

Необходимо создать одну основную базу данных, структура которой изображена на рисунке 2 (здесь и далее на рисунках изображены лишь ключи, остальные атрибуты отсутствуют). В ней будет храниться общая информация о покупках (о продуктах и их виде) в таблицах «Product» и «Kind», а так же информация об уже созданных базах данных для хранения информации о транзакционных записях в таблице «Database». Таблицы с информацией о продуктах и их виде было решено вынести в общую базу данных, так как количество этой информации растет не так быстро и для ее хранения не нужно большого объема памяти.

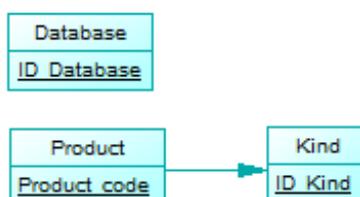


Рис. 2. Модель данных общей базы данных «CommonDB»

Далее на доступных серверах необходимо создать базы данных по шаблону для хранения информации о транзакционных записях (таблицы «Cash_voucher_list» и «Cash_voucher») и добавить о них информацию в общую базу данных в таблицу «Database» с указанием сервера, на котором она находится, параметров входа и количества возможных записей для хранения. В этих базах и будет храниться информация, которая будет стремительно увеличиваться. Модель данных баз для хранения информации о транзакционных записях представлена на рисунке 3.



Рис. 3. Модель данных базы данных для хранения быстро увеличивающейся информации

В процессе работы новые данные будут заноситься в активную доступную для заполнения базу данных и в общую (если это информация о продуктах и их виде). После полного заполнения активной базы программа ищет следующую уже созданную пустую базу, если таковой нет, то создает ее на доступном сервере.

Работая с приложением, пользователь не заметит, что данные хранятся в различных местах, так как сервисный уровень обрабатывает запрос пользователя и возвращает ему такой результат, какой был бы, если бы данные находились в одном месте.

Взаимодействовать с системой могут следующие пользователи: Оператор системы, Заместитель директора и Администратор приложения.

Для Оператора системы предусмотрен лишь ввод информации о покупках.

Заместитель директора в дополнении к указанной функции может добавлять информацию о новых товарах и их видах, запрашивать отчеты.

Администратор приложения имеет возможность создания новых запросов и пользователей, редактирование информации о серверах и базах данных, созданные новых баз данных и т.п.

Для того чтобы не обрабатывать несколько раз одну и ту же информацию, предусмотрено кэширование. Раз запрошенные данные сохраняются в общую базу данных и при повторном запросе этой информации уже берутся из кэша, а не высчитываются снова.

Для реализации используется СУБД MSSQLSERVER 2008 R2 и MS Visual Studio 2010.

Программа проста для поддержки и использования, а также менее затратная по сравнению с другими вариантами.

Результаты и выводы

1. Выполнен анализ подходов к обработке баз данных больших объемов. Наиболее перспективной в настоящее время является лямбда-архитектура.

2. Ведется разработка информационной системы для обработки баз данных больших объемов, позволяющая хранить информацию о транзакционных записях и обрабатывать ее.

3. Спроектирована структура базы для хранения данных больших объемов. Разбиение базы данных большого объема на части позволяет хранить информацию в различных местах и обращаться только к необходимым данным во время обработки, что обеспечивает уменьшение времени длительности этого процесса.

4. Для обработки баз данных больших объемов появляются все новые подходы. Но каждый из них имеет свои плюсы и минусы и в зависимости от цели обработки необходимо выбирать свой. Предложенная архитектура удобна в случае, когда необходимо сократить время обработки базы данных с возможностью создания новых запросов. Она проста в поддержании и разработке, не требует изучения новых языков и реализации сложной архитектуры информационной системы.

Библиографический список

1. Martz, N., Warren, J. Big Data: Principles and Best Practices of Scalable Realtime Data Systems. Manning Publications Co, 2015.
2. Lin, J., Dyer, C. Data-Intensive Text Processing with MapReduce. Morgan & Claypool Publishers, 2010.
3. Фрэнкс, Б. Революция в аналитике: Как в эпоху BigData улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики. [Текст]: /Б. Фрэнкс. - М.: Альпина Паблишер, 2017. -320 с
4. Tadviser. Большие данные (BigData). [Электронный ресурс]. 2005-2018. <https://goo.gl/UvMXjZ> (Дата обращения: 12.02.2018)
5. Храмина, Е.О. Методы обработки «больших данных» [Текст] Новые информационные технологии в научных исследованиях НИТ – 2017: сб.тр. XXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов – Рязань:РГРТУ, 2017
6. Jain, V.K. Big Data and Hadoop. Khanna Publishing, 2017

УДК 004.9

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА

Л.В. Яровенко, В.В. Коваленко

*Сочинский государственный университет,
Россия, Сочи, leonid.yarovenko@inbox.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрена проблема обеспечения комплексной интеграции информационных систем с использованием процессного подхода на примере интеграции системы автоматизации деятельности санатория и другими информационными системами, которые обеспечивают работы различных подразделений санатория в сфере развлекательных услуг, таких как бары, рестораны и т.д.

Ключевые слова. Бизнес-процесс, интеграция данных, интеграция бизнес-процессов, BPM-система, Business studio.

TO A QUESTION OF INTEGRATION INFORMATION SYSTEMS WITH USE OF PROCESS APPROACH

L.V. Yarovenko, V.V. Kovalenko

*Sochi State University,
Russia, Sochi, leonid.yarovenko@inbox.ru*

Abstract. The problem of ensuring the integrated integration of information systems with use of process approach is explored in this paper by the example of integrating the system for automating the activities of the sanatorium and other information systems that support the work of various sections of the sanatorium in the field of entertainment services, such as bars, restaurants, etc.

Keywords. Business process, data integration, business process integration, BPM-system, Business studio.

Введение

Информационная инфраструктура предприятий постоянно меняется. Этот процесс может происходить в рамках определенной ИТ-стратегии или под влиянием насущных потребностей бизнеса, таких как слияние или поглощение компаний, что приводит к наследованию новых информационных систем и приложений. Результатом является крайне неоднородная ИТ-инфраструктура, содержащая различные приложения и программные компоненты, которые реализованы на разных платформах и зачастую дублирующие отдельные функции. Таким образом, интеграция разнородных приложений и систем становится все более и более значимой проблемой развития ИТ-инфраструктуры организаций и предприятий.

Обзор методов интеграции

Интеграция информационных систем представляет собой реализацию связей между различными информационными системами организаций, предприятий и корпораций для получения единого информационного пространства и организации сквозных бизнес-процессов. Разработка и применение способов интеграции информационных систем и ресурсов является одной из наиболее актуальных проблем в области ИТ-индустрии.

Существует целый ряд средств и методов реализации интеграции информационных систем, которые можно разделить на три основные группы, каждая из которых, в свою очередь, содержит разнообразные подходы.

Первая группа – интеграция на уровне данных. Суть данного метода заключается в следующем: информационные системы работают независимо друг от друга, каждая использует свой набор данных. В случае необходимости осуществляется обмен данными между системами. Фактически метод к интеграции со стороны данных является одновременно и наиболее простым, с точки зрения реализации, и наиболее многообразным относительно решаемых при этом задач. При этом если обмен данными осуществляется путем вызова сервисов или отправки/получения сообщений, то в качестве среды для обмена можно использовать сервисную шину предприятия - Enterprise Service Bus (ESB), которая является связующим программным обеспечением, обеспечивающим взаимодействие сообщений, сервисов и событий в неоднородной среде. Если же обмен данными производится в основном между базами данных, то можно использовать решение класса Extract, Transform, Load (ETL), которое применяется, чтобы загрузить в данные из нескольких разнородных систем и привести к одним справочникам. При использовании ETL исходные данные извлекаются из различных источников, полученные данные преобразовываются в единый целевой формат, затем полученные данные загружаются в целевое хранилище.

Вторая группа – интеграция на уровне приложений. Если интеграция данных чаще применяется для построения хранилищ и аналитических систем, то этот метод позволяет строить распределенные корпоративные ИС, направленные на обработку оперативных данных. Интеграция приложений чаще всего реализуется с помощью обмена сообщениями и событиями между системами. За счет этого снимается необходимость ручного ввода данных в каждую из интегрируемых систем [1]. При реализации данного метода можно применить подход с использованием сервисной шины предприятия, либо можно использовать метод Enterprise Application Integration (EAI), который представляет собой интеграционную программную среду, задача которой объединить различного рода приложения, разработанные независимо друг от друга, так, чтобы они работали как одно целое.

Третья группа – интеграция на уровне бизнес-процессов. Когда уже проведена интеграция данных и приложений между ИС, автоматизированы необходимые информационные потоки, следующим этапом является построение единой автоматизированной цепочки, в которой человек и «машина» образуют эффективный бизнес-процесс, реализовать это возможно при помощи решений класса Business Process Management System (BPMS), как правило,

основанных на языках BPEL или BPMN, которые реализуют логику процесса за счет регламентации и автоматизации шагов, введения временных ограничений, правил и действий «по умолчанию», что позволяет повысить эффективность бизнес-процессов за счет увеличения их прозрачности для всех участников [1, 2].

Business Process Management System (BPMS) (используются также термины BPM-система и исполняемый процесс), при реализации концепции процессного управления организацией рассматривает бизнес-процессы как особые ресурсы предприятия, непрерывно адаптируемые к постоянным изменениям, и полагающаяся на такие принципы, как понятность и видимость бизнес-процессов в организации за счёт моделирования бизнес-процессов с использованием формальных нотаций, использования программного обеспечения моделирования, симуляции, мониторинга и анализа бизнес-процессов, возможность динамического перестроения моделей бизнес-процессов силами участников и средствами программных систем [3, 4].

Реализация интеграции информационных систем

В работе рассмотрена проблема обеспечения интеграции данных, приложений и бизнес-процессов между системой автоматизации деятельности санаторно-курортного учреждения и другими информационными системами, которые обеспечивают работу различных подразделений санатория в сфере развлекательных услуг, таких как бары, рестораны и т.д.

В настоящее время деятельность любого санатория немыслима без систем автоматизации. Программное обеспечение для автоматизации санатория уже давно не является роскошью, а скорее необходимостью. В тоже время многие санатории не ограничиваются только оказанием санаторно-курортных услуг. Сейчас многие санатории, чтобы привлечь клиентов, размещают на своей территории различные развлекательные заведения, такие как бары, рестораны, клубы и т.д., которые, как правило, имеют свои узконаправленные системы автоматизации [5].

Складывается ситуация, когда санаторно-курортное учреждение использует несколько разных информационных систем, не связанных между собой, для автоматизации различных подразделений. Возникает потребность в интеграции данных между системами. Отсутствие должного решения проблемы интеграции влечет за собой множество проблем, таких как повторный ручной ввод данных, многократные и бесконечные сверки и корректировки. Все эти недочеты в существующем порядке организации процесса оказания услуг существенно снижают эффективность работы предприятия и увеличивают стоимость конечных работ.

Многие санатории используют систему «внутреннего депозита». При поступлении и проживании в санатории, клиент может открыть внутренний депозитный счет, который привязан к номеру проживания в санатории. С внутреннего депозита клиент может оплачивать различные услуги, оказываемые санаторием, в том числе оплачивать услуги, оказываемые развлекательными заведениями на территории санаторно-курортного учреждения, деятельность которых, в свою очередь, автоматизированная собственными информационными системами. Возникает проблема передачи данных между системой автоматизации санатория и другими ИС о состоянии депозитного счета клиента санатория.

Рассмотрим данную проблему на примере бара, работающего на территории санатория. Если клиент приобретает услугу в баре и хочет оплатить ее со своего депозитного счета – бармен оформляет заказ во внутренней системе бара, затем, на основе заказа, формирует счет на оплату и передает сформированные счета сотруднику санатория, который заносит их в систему автоматизации санатория (рис. 1).

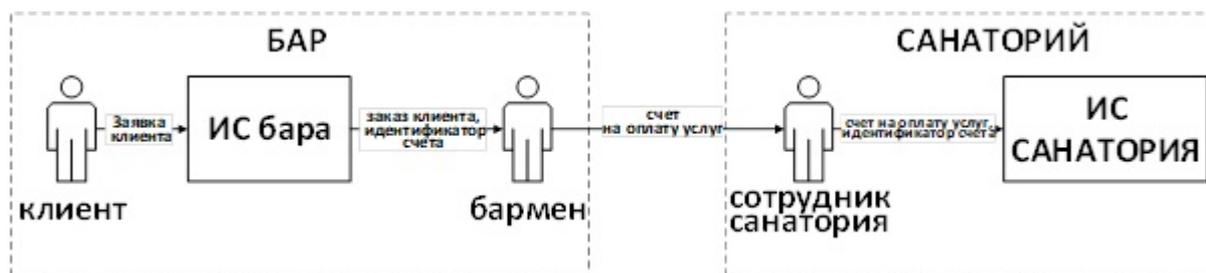


Рис. 1. Модель передачи данных между системами

Существующий способ передачи данных между системой санатория и системой бара не автоматизирован. Сотруднику бара приходится вручную формировать счета на оплату и привлекать работников санатория для проведения операций с депозитным счетом клиента. Так же отсутствует возможность оперативно получать информацию о состоянии депозитного счета клиента, что негативно сказывается на производительности труда.

При анализе существующей модели были выявлены следующие недостатки:

- невозможность оперативного проведения операций со счетом клиента;
- низкая скорость передачи данных из одной системы в другую;
- большое влияние человеческого фактора при проведении операций со счетом;
- передача данных на бумажном носителе.

Для решения данной проблемы самым простым и выгодным решением является разработка модуля интеграции данных (рис.2)



Рис. 2. Концептуальная модель интеграции ИС

Результатом работы модуля является оформленная заявка клиента бара. Модуль построен с использованием простого протокола доступа к объектам (SOAP - Simple Object Access Protocol) и обеспечивает интеграцию на уровне данных и приложений.

Для комплексной интеграции, когда уже налажены все интеграционные взаимодействия между информационными системами и автоматизированы необходимые информационные потоки, необходимо провести интеграцию бизнес-процессов – своеобразная «интеграция» людей-исполнителей и информационных систем. Таким образом, выстраивается единая автоматизированная цепочка, в которой люди и информационные системы выполняют свою часть работы, образуя эффективный сквозной бизнес-процесс, обеспечивающий локальное внедрение процессного подхода в управлении интегрированной системой. В результате проблема решается с помощью совместного использования BPM-системы и системами автоматизации деятельности организации. В качестве платформы для реализации данного метода была выбрана BPM-система, реализованная в среде пакетов Business Studio и Elma.

Был построен сквозной бизнес-процесс в нотации «Процедура» (рис.3), который объединяет действия сотрудников бара и санатория при управлении интегрированными посредством модуля интеграции информационными системами.

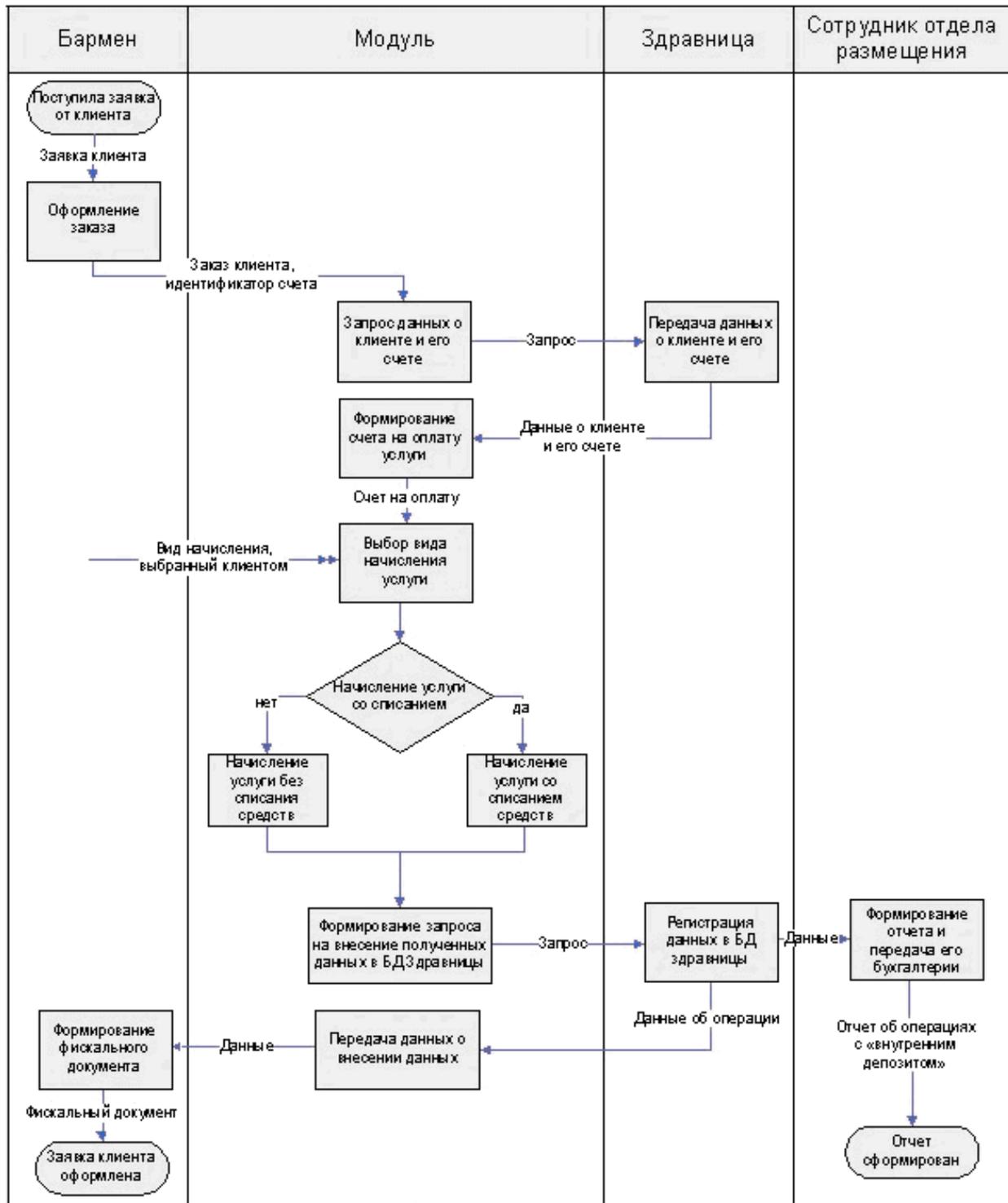


Рис. 3. Сквозной бизнес-процесс «Обработка заказа»

Результатом применения процессного подхода к управлению процессом оплаты клиентом услуг в баре с внутреннего депозита является сквозной бизнес-процесс «Обработка заказа» со списком задач для исполнителей и полным набором регламентной документации. При необходимости процесс легко модифицируется исполнителями без остановки его выполнения и с автоматической генерацией списка задач и регламентной документации.

Таким образом, была реализована комплексная интеграция двух независимых информационных систем на основе нескольких шагов, представляющих собой последовательные

ступени в процессе построения полноценной и эффективной интеграции: нормализация данных, реализация автоматизированного взаимодействия между приложениями и формирование сквозного бизнес-процесса для исполнителей обеих систем.

Библиографический список

1. Ушанова М. ИТ-интеграция – миссия выполнима. Jet Info. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jetinfo.ru/stati/it-integratsiya-missiya-vypolnima/> (дата обращения: 30.12.2017 г.)
2. Самолисов П. Три подхода к интеграции информационных систем. [Электронный ресурс]. URL: <http://samolisov.blogspot.ru/2012/03/blog-post.html> (дата обращения: 25.12.2017 г.)
3. Лыкова А.И., Батищев А.В. Развитие концепции управления бизнес-процессами организации: от классического подхода к bpm-системам // Синергия. 2015. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-kontseptsii-upravleniya-biznes-protsepsiimi-organizatsii-ot-klassicheskogo-podhoda-k-bpm-sistemam> (дата обращения: 10.01.2018)
4. Коваленко В.В., Коваленко Вик.В. Автоматизация систем менеджмента качества на основе современных технологий // European Journal of Computer Science. 2015, Vol. (1), Is. 1, pp. 41-47
5. Яровенко Л.В., Коваленко В.В. Разработка модуля для интеграции данных эксплуатируемых информационных систем в санатории // Актуальные задачи математического моделирование информационных технологий - ФГБУН Сочинский НИЦ Российской академии наук, 2017. С. 115-118.

УДК 004.855.5

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СЛУЧАЙНОГО ЛЕСА

М.С. Ивкина

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязанская область, Рязань*

Аннотация. В данной работе описано применение методов решающих деревьев и случайного леса для решения задачи классификации данных.

Ключевые слова. Интеллектуальный анализ данных, классификация данных, решающие деревья, случайный лес.

SOLVING THE PROBLEM OF CLASSIFICATION BASED ON RANDOM FORESTS

M.S. Ivkina

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan region, Ryazan*

Abstract. In this paper, we describe the application of the methods of solving trees and a random forest to solve the problem of classifying data.

Keywords. Data mining, classification of data, decision tree, random forest.

Введение

Интеллектуальный анализ данных (Data Mining) – это процесс поддержки принятия решений, целью которого является обнаружение неявных закономерностей в наборах данных. Анализ данных предназначен для поиска в больших объемах данных неочевидных, эффективных и полезных на практике закономерностей, которые обнаруживаются стандартными методами обработки информации или экспертным путем [1].

Основные задачи интеллектуального анализа данных – это классификация, регрессия и прогнозирование. В задаче классификации для каждого варианта определяется категория (класс), которому он принадлежит. Задача регрессии во многом схожа с задачей классификации, но в ходе ее решения производится поиск шаблонов для определения числового значения (как правило, из непрерывного диапазона). В задаче прогнозирования осуществляется предсказание новых значений на основании имеющихся значений числовой последователь-

ности. При этом могут учитываться имеющиеся тенденции (тренды), сезонность, другие факторы.

Существуют различные методы интеллектуального анализа данных, например деревья решений, метод опорных векторов (SVM), метод k ближайших соседей, байесовская классификация, алгоритмы кластерного анализа [1 – 3]. При рассмотрении каждого метода можно выявить достоинства и недостатки, в следствии чего нельзя однозначно сказать, что тот или иной метод плох или хорош. Сами по себе эти методы анализа данных используют редко, чаще всего их формируют композиции (ансамбли).

В общем случае описание задачи классификации данных формулируется так: для некоторого вектора $\vec{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, где m – число признаков, необходимо провести процедуру принятия решения о принадлежности данного вектора к классу из множества $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$, где n – число классов, основываясь на обучающей выборке данных. Алгоритм решения рассмотрим на одном из самых популярных и надежных методов анализа – решающем дереве и его ансамбле.

Решающие деревья

Решающее дерево (Decision tree) основано на логических схемах, позволяющих получить решение о классификации объекта с помощью ответов на иерархически организованную систему вопросов. Дерево состоит из «листьев» и «веток». На ребрах («ветках») дерева решения записаны атрибуты, от которых зависит целевая функция, в «листьях» записаны значения целевой метки, а в остальных узлах – вопросы, которые зависят от ответа, полученного на предыдущем уровне. Чтобы классифицировать данные, надо спуститься по дереву от корня до листа, значение метки в котором и будет ответом. Решающее дерево бинарное, если каждая внутренняя или корневая вершина инцидентна только двум выходящим ребрам, именно такие удобнее всего использовать в моделях машинного обучения. Существует большое количество методов построения бинарных деревьев. Наиболее распространены методы ID3, C4.5, CART и его модификации.

Прежде чем начать классификацию данных, необходимо обучить классификатор. Обучение производится на обучающей выборке и включает в себя поиск оптимальных пороговых параметров или бинарных разбиений для признаков \vec{x} , исходя из требований индекса неоднородности в выборках. Существует несколько видов индексов:

- энтропийный индекс неоднородности;
- индекс Джини;
- индекс ошибочной классификации.

Построение дерева начинается с корня, точнее с нахождения оптимального признака с учетом значения индекса и подвыборки, задаваемых с помощью найденного признака. В дальнейшем, каждая из подвыборок разделяется на другие подвыборки на основе своего оптимального признака. Разделение будет продолжаться до тех пор, пока текущая подвыборка не будет удовлетворять критерию остановки и не будет объявлена листом с меткой класса. В качестве критерия остановки может быть использован критерий достижения полной однородности по одному из классов. Дерево может быть построено всегда, когда обучающая выборка не содержит объектов с одним и тем же значениям каждого из признаков, принадлежащих разным классам. Однако абсолютная точность на обучающей выборке не всегда может приводить к высокой точности классификации тестовых данных. Такая ситуация называется переобучение. Данная проблема отсутствует в композиции решающих деревьев – в случайном лесе.

Случайный лес

Случайный лес (Random forest) – алгоритм на основе ансамбля решающих деревьев, был предложен Лео Брейманом и Адель Катлер. Этот метод является одним из самых популярных и эффективных методов для решения задач классификации и регрессии.

Каждое дерево строится по выборке, получаемой из исходной обучающей выборки с помощью бутстрепа (выборка с возвращением). При построении каждого дерева на стадиях ветвления вершин используется только фиксированное число случайно отбираемых признаков обучающей выборки и строится полное дерево, то есть каждый лист дерева содержит наблюдения только одного класса [4]. В задачах классификации решение принимается голосованием по большинству, а в регрессии усреднением.

Основными достоинствами метода являются:

- защита от переобучения;
- выборки могут содержать признаки, измеренные в разных шкалах: числовой, порядковой и номинальной;
- допускает параллелизацию, что весьма существенно при больших объемах обучающей выборки.

Алгоритм случайного леса может быть представлен так.

Для $i = 1, 2, \dots, b$ (b – число деревьев в композиции) выполнить следующие шаги.

1. Формирование бутстреп-выборки по исходной обучающей выборке.
2. Построение по бутстреп-выборке неусеченного дерева решений с минимальным количеством наблюдений в вершинах, используя следующий подалгоритм:
 - a) из исходного набора признаков случайно выбрать некоторое число признаков;
 - b) из выбранного числа признаков выбрать признак, который обеспечивает наилучшее расщепление;
 - c) разделить выборку, соответствующую обрабатываемой вершине, на две подвыборки.
3. Формирование ансамбля деревьев решений.
4. Классификация тестовых данных голосованием: ответом является тот класс, которым большее число деревьев классифицировало данные.

Программная реализация и увеличение качества классификации

Для создания программы анализа данных в настоящее время чаще всего используется язык программирования Python, так как он имеет много разнообразных библиотек, специально предназначенных для машинного обучения. Библиотека scikit-learn предоставляет реализацию целого ряда алгоритмов для обучения с учителем и обучения без учителя. Случайный лес в Python является оценкой, которая соответствует ряду классификаторов решающих деревьев на разных подвыборках данных и использует усреднение для улучшения точности прогнозирования и контроля над переобучением. Как было сказано выше, такой метод дает достаточно точную классификацию. Однако в некоторых случаях даже такой высокой точности бывает недостаточно. Используя встроенную функцию построения случайного леса RandomForestClassifier, можно настраивать параметры построения для улучшения качества. Параметры метода RandomForestClassifier:

- `n_estimators` – число деревьев (default – 10);
- `criterion` – функция, которая измеряет качество разбиения ветки дерева: "entropy" или "gini" (default – "gini");
- `max_features` – число признаков, по которым ищется разбиение: указывается конкретное число, которое выбрать из доступных значений: "auto", "sqrt", "log2" (default – "auto");

- `max_depth` – максимальная глубина дерева (default – не ограничено);
- `min_samples_split` – минимальное количество объектов, необходимое для разделения внутреннего узла, задаваемое числом или процентом от общего числа объектов (default – 2);
- `min_samples_leaf` – минимальное число объектов в листе. Задается числом или процентом от общего числа объектов (default – 1);
- `max_leaf_nodes` – максимальное количество листьев (default – не ограничено);
- `bootstrap` – применять ли бутстрэп для построения дерева (default – True).

Ручное изменение каждого параметра нецелесообразно по разным причинам, например, большое число совокупностей параметров. В библиотеке `scikit-learn` реализован специальный метод подбора оптимальных параметров по сетке – `GridSearchCV`. Использование этой функции позволяет автоматически подбирать наилучшие по совокупности параметры из заданного диапазона, что значительно улучшает качество классификации.

Так же бывают случаи, когда даже с оптимальными параметрами классификатор не показывает высокую точность. Это может быть связано с данными в выборке, точнее с её несбалансированностью, то есть объектов одного класса больше, чем другого. Методы балансировки данных также реализованы в Python в библиотеке `imblearn`: `ADASYN` и `SMOTE`. Оба метода генерируют объекты миноритарного класса. Искусственное увеличение объема выборки может повысить точность классификатора.

При программной реализации качество классификатора можно оценить различными метриками:

- `accuracy` – доля объектов по которым классификатор принял правильное решение;
- `average_precision` – средняя точность классификатора;
- `f1` – гармоническое среднее между точностью и полнотой;
- `neg_log_loss` – логистическая функция потерь;
- `precision` – доля объектов действительно принадлежащих данному классу относительно всех объектов которые система отнесла к этому классу;
- `recall` – доля найденных классификатором объектов принадлежащих классу относительно всех объектов этого класса;
- `roc_auc` – площадь под кривой ошибок.

На рисунке 1 показан пример увеличения качества классификации методом случайного леса.

<code>average_precision</code> = 0.67064578605416414	<code>precision</code> = 0.79482686443277584	<code>precision</code> = 0.88766672427119064
<code>precision</code> = 0.72792106313672567	<code>recall</code> = 0.55249674398039561	<code>f1</code> = 0.89262882816081601
<code>f1</code> = 0.53286497742360428	<code>f1</code> = 0.65150309658917371	<code>recall</code> = 0.89787468081601585
<code>recall</code> = 0.42224836427029155	<code>average_precision</code> = 0.72901336668164685	<code>average_precision</code> = 0.95247162768570059
<code>accuracy</code> = 0.84034354088928731	<code>roc_auc</code> = 0.89583775342066851	<code>roc_auc</code> = 0.95627658211014188
<code>roc_auc</code> = 0.87291152747699952	<code>accuracy</code> = 0.87260219716078458	<code>accuracy</code> = 0.89200147597719859
<code>f1_micro</code> = 0.84034354088928731	<code>f1_micro</code> = 0.87260219716078458	<code>f1_micro</code> = 0.89200147597719859
<code>f1_macro</code> = 0.71827346081750254	<code>f1_macro</code> = 0.78675115546679575	<code>f1_macro</code> = 0.89198248199420438
<code>f1_weighted</code> = 0.82358619347660267	<code>f1_weighted</code> = 0.86372161876890308	<code>f1_weighted</code> = 0.89198991803407746
<code>neg_log_loss</code> = -0.3620866698718509	<code>neg_log_loss</code> = -0.5805442502956264	<code>neg_log_loss</code> = -0.34800583368009896
a)	б)	в)

Рисунок 1 – Значения метрик классификатора: а) без подбора параметров и балансировки, б) только с подбором параметров, в) с подбором параметров и балансировкой

Заключение

Среди методов Data Mining, используемых для прогнозирования, наиболее распространенным является метод решающих деревьев и их ансамбль – случайный лес. Этот метод имеет ряд хороших качеств, чем он и заслужил широкое применение:

- подходит для многоклассовой классификации;

- имеет высокую точность;
- характеризуется отсутствием проблемы переобучения в ансамбле;
- характеризуется простотой в применении;
- допускает параллельность вычислений.

Однако, при всех достоинствах, переходящих из метода решающих деревьев, случайный лес имеет основной недостаток – отсутствие визуального представления процесса принятия решений и сложности интерпретации их решений.

Несмотря на то, что метод классификации данных, основанный на случайном лесе, имеет достаточно хорошую точность, по сравнению с другими классификаторами, его можно несколько улучшить при помощи программной реализации. Однако такое не подходит для каждой выборки данных, на более сбалансированных и правильно составленных обучающих выборках качество может не только не измениться, но и наоборот даже ухудшиться. Следовательно, требуется проверять данные на необходимость балансировки, а для самого классификатора находить оптимальные параметры. Все эти проверки также можно реализовать программно для гарантированного улучшения точности классификатора и оптимизации всего процесса классификации.

Библиографический список

1. Чернышова Г.Ю. Интеллектуальный анализ данных: Саратов. 2012.
2. Демидова Л.А., Титов С.Б. Подход к проблеме нечеткой кластеризации в условиях неопределенности выбора целевой функции // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2009. № 29. С. 54-60.
3. Демидова Л.А., Тишкин Р.В., Юдаков А.А. Разработка ансамбля алгоритмов кластеризации на основе матриц подобия меток кластеров и алгоритма спектральной факторизации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 4-1 (46). С. 9-17.
4. Чистяков С.П. Случайные леса: обзор. Труды Карельского научного центра РАН, №1. 2003. С. 117-136.

УДК 004; ГРНТИ 20.01.45

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МОРФОЛОГИИ ТАДЖИКСКОГО ЯЗЫКА

Н.Мадибрагимов

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Российская Федерация, navruzmadibragimov@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассматриваются модели формообразования слов естественных языков, а также их применение для описания морфологии таджикского языка. Приведены примеры и результаты выполненных исследований по формообразованию слов в таджикском языке.

Ключевые слова. Компьютерная лингвистика, таджикский язык, компьютерные технологии, машинная обработка текста.

COMPUTER MODELS OF MORPHOGENESIS OF WORDS AND THEIR APPLICATION FOR DESCRIPTION OF TAJIK LANGUAGE MORPHOLOGY

N. Madibragimov

*Ryazan State Radio Engineering University
Russian Federation, navruzmadibragimov@gmail.com*

Abstract. In this article, models of the morphogenesis of words of natural languages, as well as their application for the description of the morphology of the Tajik language, are considered. Examples and results of research on the formation of words in the Tajik language are given.

Keywords. Computational linguistics, the Tajik language, computer technology, word processing.

Введение

Развитие интернета и бурный рост доступной текстовой информации, значительно ускорило развитие научной области, как автоматическая обработка текстов и компьютерная лингвистика. В рамках этой области предложено много перспективных идей по автоматической обработке текстов на естественном языке. На сегодняшний день, компьютерная лингвистика таджикского языка находится на раннем этапе развития и нуждается в дальнейших исследованиях, чем обосновывается актуальность выбранной темы данной статьи.

Универсальная модель морфологии естественных языков

Модели морфологии отражают структуру слова, правила изменения слов, способы выражения грамматических значений и способы словообразования.

Слово представляет собой последовательность букв алфавита. Строка может содержать несколько слов, например, составляющих аналитическую форму слова.

В работах [1-2] была предложена универсальная модель формообразования слов, которая показывает, что получение любой словоформы с данным грамматическим значением, можно представить в виде нескольких преобразований основы слова.

Выделены два основных типа преобразования строк:

- 1) добавление префикса слева и/или постфикса справа к строке, не изменяя саму строку;
- 2) замена в строке первого слева вхождения определенной подстроки на другую подстроку.

Для каждого преобразования можно применить обратное к нему действие:

- 1) отделение префикса и постфикса из подстроки;
- 2) обратная замена первого слева вхождения подстроки

Данная модель является открытой, то есть к модели можно добавлять другие типы преобразований.

Необходимо, чтобы преобразование, применяемое к данной модели, обладали следующими свойствами:

- 1) однозначность результата: полагается, что преобразование дает всегда одинаковый результат;
- 2) обратимость действия: если преобразовать строку прямо, затем обратно, то строка остается неизменной.

Исследование словоформ и выявление словоизменительных типов в таджикском языке

В настоящее время ведется работа по выявлению классификаций изменения слов и принципов словообразования в таджикском языке для их описания с помощью метода и генерации и определения форм слов.

Для исследования используется таджикско-русский словарь из книги «Таджикский язык», авторы которого являются С.Д. Арзуманов и А. Сангинов [3]. Данный словарь включает в себя 2736 слов таджикского языка и выбран, как словарь содержащий наиболее употребляемых слов таджикского языка. Все слова данного словаря разделяются на соответствующие части речи.

На данный момент выделены 1 110 слов существительных, для которых выявлены всевозможные словоформы в таджикском языке. Для выявления словоформ учитывался тот факт, что существительные в таджикском языке не склоняются по падежам, но падежные отношения выражаются синтаксически: порядком слов в предложении, согласованием, изафетной конструкцией, сочетанием с предлогами и послелогами. В связи с этим, перечислены

словоформы таджикского языка в формах, передающих значения падежей, как в русском языке. А также изафетная форма существительного.

чис-ло	именитель-ный	родительный		дательный		винительный		творительный		предложный		изофат (изафет)	
	«кй?», «чй?»	«аз они кй?» ва «аз они чй?», «аз кй?» ва «аз чй?» предлоги аз они, аз тарафи, аз чониби, аз		«ба кй?», «ба чй?»		«ро»		«бо кй?», «бо чй?», «аз тарафи кй (чй)?»		«дар бораи кй», «дар бораи чй» (Дар бораи, Дар хусуси, Дар бобати, дар)			
ед.ч	абад	аз	абад	ба	абад	абад	+ро	бо	абад	дар бораи	абад	абад	+и
мн.ч	абадҳо	аз	абадҳо	ба	абаҳо	абадҳо	+ро	бо	абадҳо	дар бораи	абадҳо	абадҳо	+и
ед.ч	аблах	аз	аблах	ба	аблах	аблах	+ро	бо	аблах	дар бораи	аблах	аблах	+и
мн.ч	аблахҳо	аз	аблахҳо	ба	аблахҳо	аблахҳо	+ро	бо	аблахҳо	дар бораи	аблахҳо	аблахҳо	+и
ед.ч	абр	аз	абр	ба	абр	абр	+ро	бо	абр	дар бораи	абр	абр	+и
мн.ч	абрҳо	аз	абрҳо	ба	абрҳо	абрҳо	+ро	бо	абрҳо	дар бораи	абрҳо	абрҳо	+и
ед.ч	абрешим	аз	абрешим	ба	абрешим	абрешим	+ро	бо	абрешим	дар бораи	абрешим	абрешим	+и
мн.ч	абрешимҳо	аз	абрешимҳо	ба	абрешимҳо	абрешимҳо	+ро	бо	абрешимҳо	дар бораи	абрешимҳо	абрешимҳо	+и
...

Кроме этого, так как в таджикском языке отсутствуют категории грамматического рода, но существуют правила по изменению слов по лицам и числам, слова в единственном и множественном числе были склонены по лицам и выделены формы по числу.

Единственное число:

И-лицо	Суффикс	II-лицо	суффикс	III-лицо	суффикс
абад	+ам	абад	+ат	абад	+аш
абадҳо	+ям	абадҳо	+ят	абадҳо	+яш
аблах	+ам	аблах	+ат	аблах	+аш
аблахҳо	+ям	аблахҳо	+ят	аблахҳо	+яш
абр	+ам	абр	+ат	абр	+аш
абрҳо	+ям	абрҳо	+ят	абрҳо	+яш
абрешим	+ам	абрешим	+ат	абрешим	+аш
абрешимҳо	+ям	абрешимҳо	+ят	абрешимҳо	+яш
...

Множественное число:

И-лицо	суффикс	II-лицо	суффикс	III-лицо	суффикс
абад	+амон	абад	+атон	абад	+ашон
абадҳо	+ямон	абадҳо	+ятон	абадҳо	+яшон
аблах	+амон	аблах	+атон	аблах	+ашон
аблахҳо	+ямон	аблахҳо	+ятон	аблахҳо	+яшон
абр	+амон	абр	+атон	абр	+ашон
абрҳо	+ямон	абрҳо	+ятон	абрҳо	+яшон
абрешим	+амон	абрешим	+атон	абрешим	+ашон
абрешимҳо	+ямон	абрешимҳо	+ятон	абрешимҳо	+яшон
...

В общем итоге, вместе с неопределённой формой слова, получились 14 форм слов. В ходе исследований выяснилось, что формообразование существительных таджикского языка по классифицированным формам осуществляется по двум типам.

1. Слово не изменяется, суффиксы и вспомогательные слова добавляются по общим правилам не изменяясь;
2. Слова, заканчивающиеся на $-й^1$ вспомогательные слова добавляются по общим правилам, а при добавлении суффикса, окончание $-й$ заменяется на $-и$.

В настоящий момент ведётся работа по классификации форм слов прилагательных таджикского языка.

При классификации словоформ были использованы подходы и принципы анализа морфологии таджикского языка в трудах З.Д.Усманова и Г.М.Довудова [4].

Библиографический список

1. Пруцков А.В. Морфологический анализ и синтез текстов посредством преобразований форм слов // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2004. № 15. С. 70-75.
2. Пруцков А.В. Методы поиска решений в лингвистических автоматизированных обучающих системах // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2006. № 4. С. 15-18.
3. Арзуманов С.Д., Сангинов А., Таджикский язык. – Душанбе.: Маориф, 1988 – 416 с.
4. З.Д.Усманов, Г.М.Довудов. Морфологический анализ словоформ таджикского языка. – Душанбе. «До-ниш», 2015, 132 с.

УДК 004.855.5; ГРНТИ 28.23.20

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАССИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ ОКНА ПАРЗЕНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА SVM-КЛАССИФИКАЦИИ

Л.А. Демидова, М.М. Егин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, liliya.demidova@rambler.ru*

Аннотация. В статье предложена технология классификации данных, предполагающая последовательное применение SVM-классификатора и классификатора на основе окна Парзена. Классификатор на основе окна Парзена позволяет повысить точность классификации данных на основе SVM-классификатора посредством уточнения результатов классификации для данных из подобластей вблизи гиперплоскости, разделяющей классы. Эти подобласти определяются экспериментально для каждого конкретного набора данных. Приведены примеры применения предлагаемой методики классификации данных.

Ключевые слова. Классификация, SVM-алгоритм, окно Парзена, показатели качества классификации.

IMPROVING CLASSIFICATION QUALITY USING PARZEN CLASSIFIER

L.A. Demidova, M.M. Egin

*Ryazan State Radioengineering University,
Russia, Ryazan, liliya.demidova@rambler.ru*

Abstract. In this paper the data classification technique, implying the consistent application of the SVM and Parzen classifiers, has been suggested. The Parzen classifier allows improving the accuracy of the data classification on the basis of the SVM classifier. The Parzen classifier is applied for data of subareas near the hyperplane dividing the classes. These subareas are determined experimentally for the concrete dataset. The examples of application of the offered technique for the solving the data classification problem have been given.

Keywords. Classification, Support Vector Machine, Parzen window, classification quality factors.

¹Буква й (ии заданок) таджикского языка, даёт звук длинное –и, встречается всегда в конце слова

Введение

В настоящее время известно большое число разнообразных методов и алгоритмов интеллектуального анализа данных, применяемых для разработки классификаторов данных. Такие методы и алгоритмы предназначены, например, для построения линейной и логистической регрессий, байесовского классификатора, деревьев решений, решающих правил классификации, нейронных сетей и т.п. Наиболее известные из них, такие как алгоритм опорных векторов (SVM-алгоритм, Support Vector Machine Algorithm) [1 – 3] и алгоритм k ближайших соседей (k NN-алгоритм, k Nearest Neighbors Algorithm) показывают высокое качество классификации данных [4]. Алгоритм окна Парзена [5] менее известен в решении задач классификации, но также демонстрирует высокое качество классификации данных и обладает некоторыми преимуществами над k NN-алгоритмом. При этом k NN-классификатор и классификатора на основе окна Парзена используют сходные подходы к классификации данных.

В данной статье описана технология классификации, основанная на последовательном применении SVM-классификатора и классификатора на основе окна Парзена в определяемых экспериментально (по результатам работы SVM-классификатора) подобластях пространства характеристик. Подобные технологии уже предлагались ранее [6 – 9]. Классификатор на основе окна Парзена разрабатывается для объектов, оказавшихся внутри разделительной полосы, в частности, в пределах Ω -области, содержащей все объекты, ошибочно классифицированные SVM-классификатором. Кроме того, Ω -область может содержать небольшое количество объектов, классифицированных правильно. Объекты, оказавшиеся за пределами Ω -области, предлагается использовать как репрезентативные объекты соответствующих классов [8, 9].

SVM-классификация

Для построения разделяющей гиперплоскости SVM-алгоритмом решается двойственная задача поиска седловой точки функции Лагранжа, которая сводится к задаче квадратичного программирования, содержащей только двойственные переменные [1 – 3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} -L(\lambda) = -\sum_{i=1}^S \lambda_i + \\ \quad + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^S \sum_{\tau=1}^S \lambda_i \cdot \lambda_{\tau} \cdot y_i \cdot y_{\tau} \cdot \kappa(z_i, z_{\tau}) \rightarrow \min_{\lambda}, \\ \quad \sum_{i=1}^S \lambda_i \cdot y_i = 0, \\ \quad 0 \leq \lambda_i \leq C, \quad i = \overline{1, S}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где λ_i – двойственная переменная;

z_i – объект из обучающей выборки;

y_i – число (+1 или -1), характеризующее классовую принадлежность объекта z_i из обучающей выборки;

$\kappa(z_i, z_{\tau})$ – функция ядра;

C параметр регуляризации ($C > 0$);

S – количество объектов в обучающей выборке; $i = \overline{1, S}$.

Обычно SVM-классификатор, построенный даже с настройками, заданными по умолчанию, обеспечивает высококачественную классификацию экспериментальных данных. При этом большинство ошибочно классифицированных объектов попадают внутрь полосы, разделяющей классы. Поэтому для решения проблемы классификации объектов в разделительной полосе необходимо использовать дополнительный инструментальный анализ данных.

Парзен-классификация

Алгоритм окна Парзена является частным случаем обобщенного метрического классификатора, заданного правилом классификации (2):

$$a(u, Z^l, h) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{i=1}^l w_i [y_u^{(i)} = y] \quad (2)$$

где u – объект, классовую принадлежность которого необходимо установить;

Z^l – обучающая выборка, состоящая из объектов, классовая принадлежность которых известна;

w_i – веса объекта обучающей выборки;

Y – множество ответов;

$y_u^{(i)}$ – классовая принадлежность i -го соседа объекта u .

В случае окна Парзена веса каждого объекта w_i задаются некоторой функцией ядра, невозрастающей на промежутке $[0, \infty)$ [5]. В зависимости от типа окна Парзена различают следующие способы задания весов объектов.

1. Для окна Парзена фиксированной ширины веса объектам устанавливаются в пределах некоторого вещественного числа h – максимального расстояния, на котором учитываются объекты:

$$w_i = K \left(\frac{\rho(u, x_u^{(i)})}{h} \right) \quad (3)$$

где K – некоторая функция ядра;

$\rho(u, x_u^{(i)})$ – расстояние от объекта u до объекта своего i -го соседа, рассчитанное в соответствии с некоторой метрикой.

2. Для окна Парзена переменной ширины используется не ширина окна, а порядковый номер k соседа, вклад которого в классификацию неизвестного объекта учитывается. Таким образом, число h определяется в зависимости от расстояния до k -го соседа из обучающей выборки:

$$w_i = K \left(\frac{\rho(u, x_u^{(i)})}{\rho(u, x_k^{(i)})} \right). \quad (4)$$

В силу преимущества окна Парзена переменной длины, в дальнейшем будет использоваться именно этот тип.

При построении классификатора на основе окна Парзена необходимо определить следующие параметры: число k , метрику и функцию ядра. В работе используются следующие метрики: евклидово расстояние, квадрат евклидова расстояния, манхэттенское расстояние, метрика Чебышева. В качестве функций ядра рассматриваются: функция ядра Епанечникова, квадратичное, треугольное, гауссовское ядра.

Технология классификации данных

Повышение качества классификации данных может быть достигнуто с использованием следующей технологии классификации данных.

1. Разработать SVM-классификатор на основе исходного набора данных.

2. Оценить качество классификации данных с применением различных показателей качества классификации, числа ошибок на обучающей и тестовой выборках.

3. Проанализировать возможность использования классификатора на основе окна Парзена с оценкой ширины Ω -области, содержащей все объекты, ошибочно классифицированные SVM-классификатором. При этом можно использовать симметричную или асимметричную Ω -область. Асимметричная Ω -область определяется следующим образом: $\Omega = \Omega^- \cup \Omega^+$, где Ω^- и Ω^+ – области с ошибочно классифицированными объектами, которые относятся к классам с метками «-1» и «+1» в экспериментальном наборе данных соответственно. Симметричную Ω -область можно определить как область, содержащую объекты, расположенные на расстоянии, которое не превышает $\Delta = \max\{d_{\Omega^-}, d_{\Omega^+}\}$. Необходимо разработать классификатора на основе окна Парзена с обоими вариантами Ω -области и выбрать наилучший, обеспечивающий наивысшее качество классификации на конкретном экспериментальном наборе данных.

4. Сформировать набор данных, который будет использоваться для разработки классификатора на основе окна Парзена (обычно мощность этого набора данных значительно меньше, чем мощность исходного экспериментального набора данных).

5. Разработать классификатор на основе окна Парзена с использованием различных способов голосования и различных мер расстояния с последующим выбором лучшего варианта классификатора на основе окна Парзена, обеспечивающего совместно с SVM-классификатором наиболее высокую точность классификации исходного экспериментального набора данных.

6. Оценить качество итоговой классификации данных с применением показателей качества, упомянутых на шаге 2.

Совместное использование вышеназванных классификаторов позволит гармонично сочетать их достоинства и нивелировать недостатки. Высокие вычислительные затраты на разработку SVM-классификатора могут быть компенсированы существенно меньшими временными затратами на разработку классификатора на основе окна Парзена.

При этом при разработке классификатора на основе окна Парзена придется иметь дело уже не со всем исходным экспериментальным набором данных, а с набором существенно меньшей мощности, содержащим лишь данные, которые расположены за пределами Ω -области.

Использование нового дополнительного инструментария – классификатора на основе окна Парзена, основанного на других принципах интеллектуального анализа данных (по сравнению с SVM-классификатором) позволит повысить общую точность классификации данных. При этом новый метод классификации может быть применен к классификации новых объектов, если этот метод обеспечивает повышение качества классификации на экспериментальном наборе данных.

Результаты

Программная реализация была выполнена в системе инженерных и научных расчетов Matlab с использованием программной библиотеки *m*-файлов, предназначенных для разработки SVM-классификаторов.

Апробация предложенной технологии интеллектуальной классификации производилась на реальных наборах данных, взятых из проекта Statlog и репозитория задач машинного обучения UCI Machine Learning Repository. В частности, были использованы наборы данных медицинской диагностики (WDBC и Heart; источники <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/breast-cancer-wisconsin/> и <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/statlog/heart/> соответственно).

Для каждого набора данных было произведено его многократное разбиение на обучающую и тестовую выборки с последующим обучением SVM-классификатора. Модель

классификатора обучалась с параметрами по умолчанию: параметр регуляризации C равен 1, функция ядра – радиальная базисная (rbf), параметр функции ядра равен 1.

После выбора разбиения с наименьшим числом ошибок на выборках производится расчет основных показателей качества классификации, а затем принимается решение о возможности использования классификатора на основе окна Парзена: большинство ошибочно классифицируемых объектов должно находиться в разделяющей полосе, число представителей каждого класса должны составлять не менее 20% от образованного учебного набора.

В случае, если применение классификатора на основе окна Парзена целесообразно, с помощью генетического алгоритма осуществляется поиск оптимальных значений его параметров, а именно числа соседей k , метрики и ядра.

Для набора данных WDBC, состоящего из 569 объектов, построение SVM-классификатора со значениями параметров, заданными по умолчанию, привело к 0 и 42 ошибкам на обучающей и тестовой выборках соответственно. При этом ошибочно классифицированные объекты находятся на расстоянии 0.373 от разделяющей полосы с одной стороны (опорные векторы находятся на расстоянии 1 от разделяющей полосы). Область, заключающая ошибочно классифицированные объекты, содержит 42 объектов. Поиск оптимальных значений параметров классификатора на основе окна Парзена с применением генетического алгоритма определил число соседей, равное 3, как оптимальное при евклидовой метрике и функции ядра Епанечникова. Число ошибок при применении предлагаемой технологии классификации составляет 0 и 1 на обучающей и тестовой выборках соответственно.

Для набора данных Heart, состоящего из 270 объектов, по результатам обучения SVM-классификатора число ошибок на обучающей выборке составляет 0, на тестовой – 20. Исключение объектов и последующее использование классификатора на основе окна Парзена снизило число ошибок на тестовой выборке до 7. Поиск оптимальных значений параметров классификатора на основе окна Парзена с применением генетического алгоритма определил число соседей, равное 33, как оптимальное при метрике Чебышева и гауссовской функции ядра.

Заключение

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что использование предложенной методики повышает качество результатов классификации, поскольку применение классификатора на основе окна Парзена к объектам, расположенным вблизи гиперплоскости, разделяющей классы и определенной SVM-классификатором, уменьшает число ошибочно классифицированных объектов.

Библиографический список

1. Vapnik V. *Statistical Learning Theory*. New York: John Wiley & Sons. 1998. 732 p.
2. Chapelle O., Vapnik V., Bousquet O., Mukherjee S. Choosing Multiple Parameters for Support Vector Machine. *Machine Learning*. 46. 2002. pp. 131-159.
3. Lean Yu, Shouyang Wang, Kin Keung Lai, Ligang Zhou. *Bio-Inspired Credit Risk Analysis. Computational Intelligence with Support Vector Machines*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. 244 p.
4. Wang H., Bell D. Extended k-Nearest Neighbours Based on Evidence Theory. *The Computer Journal*. vol. 47 (6). pp. 662-672. 2004.
5. Parzen E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode. *The Annals of Mathematical Statistics* 33 (1962). no. 3. 1065–1076. doi:10.1214/aoms/1177704472.
6. Li R., Wang H.-N., He H., Cui Y.-M., Du Zh.-L. Support Vector Machine combined with K-Nearest Neighbors for Solar Flare Forecasting. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*. vol. 7. no. 3. pp. 441–447. 2007.
7. Zhang H., Berg A.C., Maire M., Malik J. SVM-KNN: Discriminative Nearest Neighbor Classification for Visual Category Recognition, *Proceedings – 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. vol. 2. pp. 2126-2136. 2006.
8. Demidova L., Sokolova Yu. A Novel SVM-kNN Technique for Data Classification, 6-th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO'2017). 2017. pp. 459–462.

9. Демидова Л.А., Соколова Ю.С. Классификация данных на основе SVM-алгоритма и алгоритма k-ближайших соседей // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 62. С. 119-132.

УДК 004.431; ГРНТИ 20.53.19

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ДЕРЕВА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

П. Усачев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, pavel.usachev1@gmail.com*

Аннотация. В данной работе описаны алгоритмы CART(Classification and regression tree) и Random forest для решения задачи классификации. Рассмотрен принцип построения классификаторов при помощи приведённых алгоритмов. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Проводится сравнительный анализ относительно других алгоритмов применяемых в задачах классификации, регрессии, кластеризации.

Ключевые слова. Data mining, Decisions tree, CART, Random forest, Classification

THE SOLUTION OF THE CLASSIFICATION PROBLEM BASED ON THE ALGORITHMS OF DECISION TREE

P. Usachev

*Ryazan State Radioengineering University,
Russia, Ryazan, pavel.usachev1@gmail.com*

Abstract. This paper deals with the implementation of algorithms CART(Classification and regression tree) and Random forest for solution of the classification problem. The principle of constructing classifiers with the help of the given algorithms is considered. Their advantages and disadvantages are considered. A comparative analysis is carried out relative to other algorithms used in classification, regression, and clusterization problems.

Keywords. Data mining, Decisions tree, CART, Random forest, Classification

Введение

Деревья решений – это широко применяемые модели для решения классификации, регрессии, кластеризации [1]. По своей сути они представляют набор if-else условий, посредством которых и проводится принятие решения. Такие условия можно отобразить в виде обыкновенных вопросов и поэтому никто не запрещает строить деревья решений «от руки» (в чём проявляется одно из положительных качеств деревьев – они наглядны и понятны для человека), но гораздо более привлекательным решением является использование алгоритмов для построения деревьев на основе какой-либо статистики.

На данный момент существует несколько популярных алгоритмов и их модификаций, а именно:

- CART(Classification and regression tree) и его модификация с закрытой реализацией IndCART, базирующийся на определении правила разбиения узла посредством индекса Джини(Gini index);
- C4.5 являющийся модификацией ID3 и базирующийся на определении правила разбиения узла посредством информационного прироста(Gain ratio).

Так как приведённые выше алгоритмы очень чувствительны к выборке и, как следствие, склонны к переобучению – для них разработаны алгоритмы балансировки или же отсечения ветвей(pruning). Также может положительно сказаться на качестве классификации применение различных стратегий сэмплинга относительно выборки на которой непосредственно будет строиться дерево. Но существует и менее подверженный этим недостаткам (но, к

сожалению, не лишённый их) алгоритм построения, голосующих посредством бэггинга, ансамблей под названием Random forest.

Метод дерева принятия решений имеет следующие достоинства:

- результаты интерпретируемы человеком;
- умеет взаимодействовать с различными типами (категориальные, числовые);
- хорошо себя показывает даже в ситуациях, в которых нарушены первоначальные предположения;
- работает с огромными объёмами информации.

Недостатки метода:

- алгоритмы, в большинстве своём, являются жадными (стараясь максимизировать какой либо атрибут) и как следствие – они не могут обеспечить оптимальность всего дерева;
- чувствительность к данным или же склонность алгоритмов к переобучению;
- для категориальных параметров – больший вес получают параметры, которых большее количество [3].

CART(Classification and regression tree)

Алгоритм является относительно простым. В CART используются бинарные деревья, то есть у каждого узла имеется два потомка. На каждом этапе построения, узел разбивается по правилу (по сути по каждой метке выборки), которое делит узел на две части – часть, отвечающая условию разбиения и часть в которой условие не выполнилось. После этого проводится оценка полученного набора правил посредством функции оценки качества разбиения (Gini index, Gain ratio и др.) и выбирается лучшее правило разбиения. Далее идёт рекурсивное построение дерева до заданного условия остановки. В качестве условия может применяться метод ограничения глубины дерева, но так как у этого метода присутствует вероятность потери качества классификации – дерево строят до полной «чистоты» узла (остаются только элементы выборки принадлежащие одному классу) и при необходимости применяют механизм отсечения ветвей (pruning).

Рассмотрим функцию оценки качества разбиения. Для алгоритма CART в качестве такой функции применяется индекс Gini (он основан на уменьшении «нечистоты» в узле):

$$Gini(T) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2,$$

где p_i – вероятность (относительная частота) класса i в T .

Если набор T разбивается на две части T_1 и T_2 с числом примеров в каждом N_1 и N_2 соответственно, тогда показатель качества разбиения будет равен:

$$Gini_{split}(T) = \frac{N_1}{N} * Gini(T_1) + \frac{N_2}{N} * Gini(T_2).$$

Наилучшим считается то разбиение, для которого $Gini_{split}(T)$ минимально.

Random forest

Алгоритм заключается в использовании ансамбля решающих деревьев [3]. Голосование в классическом Random forest производится посредством бэггинга (голосование числом),

но существует модификация алгоритма, использующая бустинг(взвешенное голосования), которая даёт более высокие показатели качества классификации.

Данный алгоритм использует деревья, построенные в максимальную глубину, но которые при этом не балансированы посредством отсечения ветвей. Поэтому они не выдают хороших показателей качества по отдельности, но получаемые ансамбли являются одной из лучших моделей на сегодняшний день.

Для построения каждого дерева, входящего в ансамбль, используется выборка с повторениями из обучающего набора. После, используя случайные атрибуты, строятся деревья (в оригинале по алгоритму CART) вглубину после чего отсечения ветвей не происходит.

Наконец, полученным ансамблем проводится голосование, посредством которого принимается решение.

Вопрос реализации

Необходимо реализовать API. В качестве языка программирования было решено выбрать кросс-платформенный язык Java 8 версии. Для достижения большей универсальности и лучшего качества программного обеспечения следует хорошо продумать его архитектуру. Для работы алгоритмов требуется обучающие выборки, соответственно в программе желательно создать класс, который будет представлять собой такую структуру данных:

```
public class TrainSet {
    private List<List<Double>> numericTrainSet;
    private List<List<String>> signs;
}
```

Необходимо определить интерфейс, который будет давать возможность получать объекты класса TrainSet из уже имеющейся статистики(каких-то наборов данных) посредством парсинга.

Далее нужен класс, который будет представлять из себя рекурсивную структуру данных узел. Так же, для большей универсальности, необходимо сделать наследников, в которых будут дополнительно добавлены giniIndex и gainRatio, которые будут рассчитываться во время построения алгоритма:

```
public class Node {
    private TrainSet trainSet;
    private Node leftNode;
    private Node rightNode;
    private int signListIndex;
    private int signIndex;
}
```

Наконец, необходим класс, в котором будут описаны методы построения, а так же основные методы для работы с деревьями.

Например, метод добавления элемента в дерево:

```
public class DecisionTree <T extends Comparable> {
    /**Special node located on highest level of hierarchy*/
    private Node<T> root;
    public void add(T data) {
        if (root == null) {
            root = new Node<>(data);
        } else {
            addTo(root, data);
        }
    }
}
```

```
}
}
```

Для реализации данных алгоритмов перечисленных выше классов будет достаточно. Но в дальнейшем необходимо будет расширять функционал, покрывать код тестами.

Этим набором классов определяется модель. Программисты же, использующие данную систему, будут вольны реализовывать свои собственные приложения. Это могут быть и оконные приложения и веб-приложения. Так же можно сделать визуализацию модели посредством библиотеки Swing. На данный момент API находится на стадии разработки.

Выводы

На сегодняшний день наилучшего универсального средства для решения задач data mining не предложено. Поэтому постоянно предпринимаются попытки всячески модифицировать существующие алгоритмы либо же создать абсолютно новые [4, 5]. В связи с чем ставится цель реализации алгоритма Random forest с применением алгоритмов сэмпинга обучающей выборки, поиска шумов в обучающей выборке и последующей её очистке от них посредством алгоритма адаптивного бустинга (AdaBoost). Указанные дополнения должны улучшить качественные показатели модели.

Библиографический список

1. A. C. Muller, S. Guido, Introduction in machine learning. O'Reilly Media Inc. 2016
2. I. A. Witten, E. Frank, M. A. Hall, Data mining practice machine learning and techniques, Elsevier Inc. 2011
3. Decision tree [Электронный ресурс], URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Дерево_принятия_решений (дата обращения 16.11.17).
4. Демидова Л.А., Тишкин Р.В., Юдаков А.А. Разработка ансамбля алгоритмов кластеризации на основе матриц подобия меток кластеров и алгоритма спектральной факторизации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 4-1 (46). С. 9-17.
5. Демидова Л.А., Ключева И.А. Алгоритм подбора значений параметров bsmote-алгоритма в задаче svm-классификации на основе несбалансированных наборов данных // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 61. С. 67-77.

УДК 004.657 ГРНТИ 20.53.19

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СРЕДНЕГО БИЗНЕСА СРЕДСТВАМИ ПОПУЛЯРНЫХ ERP-СИСТЕМ

А.А. Брянцев, В.К. Курылева

Рязанский государственный радиотехнический университет

Россия, Рязань, dru1@rambler.ru, pokusatel@gmail.com

Аннотация. В работе сформулированы основные требования к автоматизированному системам управления предприятием. Произведен анализ трех популярных ERP – систем. Выбрана наиболее гибкая и практичная система.

Ключевые слова. ERP-система, предприятия среднего бизнеса, автоматизация, 1С, Парус, ИСПРО

AUTOMATIZATION OF MID-SIZE BUSINESS ENTERPRISES BY APPLYING POPULAR ERP-SYSTEMS

A.A. Bryancev, V.K. Kuryleva

Ryazan State Radio Engineering University

Russia, Ryazan, dru1@rambler.ru, pokusatel@gmail.com

Abstract. The research article defines the main requests for ERP systems and includes the analysis of three popular ERP systems, selection of the most flexible and practical system.

Keywords. ERP-system, mid-size business, 1C company, Parus, IS-PRO

Введение

Автоматизация административно-хозяйственной деятельности предприятия – это ключ к увеличению прибыли предприятия. Система управления ресурсами предприятия (далее по тексту ERP – система) – одна из главных частей автоматизации бизнес процессов и управления предприятием. В зависимости от поставленных задач и количества персонала, который участвует в процессе управления предприятием, существуют версии для предприятий малого, среднего и крупного бизнеса. В статье рассмотрены системы способствующие автоматизации производства бизнесе среднего звена. На рынке представлено множество ERP – систем с обширным функционалом, но зачастую не все они соответствуют необходимым требованиям для решения поставленных задач. В статье сделана попытка выделить основные характеристики таких систем. В рамках теории сформулированы основные требования, которым должны удовлетворять современная ERP – система для автоматизации предприятия среднего бизнеса. Проанализированы наиболее популярные системы: Парус, 1С и ИС-ПРО, с учетом составленных требований. Выявлена оптимальная система для внедрения на предприятиях среднего бизнеса.[1]

Постановка задачи

На мировом рынке представлено множество ERP – систем с обширным функционалом, но вместе с тем не все подходят для автоматизации бизнес-процессов на российских предприятиях среднего и крупного бизнеса. Выбор программы и компании-разработчика является сложной задачей, потому что у каждого предприятия существует своя специфика работы и свои требования к программному продукту. Существуют общие характеристики, которыми должна обладать любая система, внедряемая на российских предприятиях. Конкретные требования к системе, как правило, предъявляются со стороны пользователя и разработчика. Необходимо выполнить обзор ERP – систем с двух точек зрения: пользователя и разработчика.

Пользователь смотрит на программу поверхностно, поэтому основными характеристиками, которыми должна обладать система является: легкость освоения, базовая комплектность, срок внедрения, цена и обучение. Программа должна быть интуитивно понятной рядовому пользователю, при низкой стоимости обладать хорошим базовым функционалом, а также минимальными сроками внедрения, для безболезненного и быстрого перехода от одной системы к другой. Не маловажным является возможность обучения пользователей работе в системе и работников технической поддержки методам управления системой. В свете современных требований необходимостью стало наличие в системе веб-клиента для дистанционного контроля и управления бизнес процессами предприятия.

Разработчик рассматривает программу как инструмент, поэтому тщательней изучает её возможности. Основными критериями отбора являются наличие открытого системного кода, т.к. это позволяет создавать свои индивидуальные решения для выполнения задач предприятия. Немаловажным является наличие тонкого клиента для снижения требований к оснащению рабочих мест, возможность внедрения на широком спектре СУБД, что влияет на совокупную стоимость владения и требуемое техническое оснащение серверов. Огромное значение играет распространённость, используемого средства с целью обмена опытом между предприятиями, внедрившими у себя указанную или аналогичную систему, развитое пользовательское сообщество для обмена информацией и решением возможных не типовых задач и проблем на предприятиях.

Анализ существующих ERP – систем применительно к пользователю

Из рассматриваемых трех систем российская система «Парус» является самым масштабным и дорогостоящим решением автоматизации бизнес – процессов на предприятиях средней и крупной величины. Она обеспечивает комплексное решение управлением предприятия, обладает большим штатом программистов, которые в установленные сроки могут создать конкретные модули под конкретные задачи. Срок внедрения такой системы составляет от четырех месяцев до года и более в зависимости от размера предприятия. Основными минусами данной системы является высокая стоимость пакета услуг, поэтому данную систему ставят государственные учреждения, находящиеся на государственном финансовом обеспечении. Освоение данной программы для повседневных пользователей так же составляет некоторые затруднения, а обучение предоставляется возможным только в крупных городах по высокой цене.[2]

Самой широко используемой системой в среднем бизнесе является «1С» российского производства. Это профильное решение, которое, благодаря своей мобильности и возможности подстраиваться под конкретные задачи является наиболее приемлемым в ценовом диапазоне из рассматриваемых систем. Это простая, интуитивно понятная пользователю автоматизированная система, при этом доступная к обучению в сети партнёрских образовательных учреждений. Срок внедрения «1С» от трех до девяти месяцев и более.[3]

В отличие от представленных выше систем российского производства страной фирмы – разработчика ИС-ПРО является Украина, соответственно она же является основным потребителем данного программного обеспечения, поэтому любые изменения в российском законодательстве не находят мгновенного отклика в поддержке данной ERP – системы, а так же в изменении соответствующих технических моментов обучения. Относительно восприятия, система является перегруженной лишней информацией и из-за этого сложной в освоении для неопытного пользователя. Является комплексным решением, поэтому не требует расширенного штата программистов. [4]

Систематизированная информации по анализу указанных систем применительно к пользователю приведена в таблице 1.

Таблица №1. Систематизированная информации по анализу указанных систем применительно к пользователю

Наименование ERP системы	Легкость освоения	Базовая комплектность	Поддержка Web клиента	Срок внедрения	Цена	Обучение
Парус	Средняя	Комплексное решение	Да	4 месяца – 1год и более	Высокая	Присутствует
ИС-ПРО	Сложная	Комплексное решение	Нет	6 – 12 месяцев и более	Средняя	Отсутствует
1С	Простая	Профильное решение	Да	3 - 9 месяцев и более	Низкая	Развитая сеть партнёрских фирм по обучению

Анализ существующих ERP – систем применительно к системному администратору

Для автоматизации предприятий среднего бизнеса первым пунктом в выборе ERP системы является гибкость и подстраиваемость под конкретные задачи, потому комплексные решения получаются слишком дорогими. Появляется необходимость профильной системы такой как 1С. Помимо этого важной составляющей системы является наличие открытого исходного системного кода. Это даёт возможность менять параметры программы под нужды предприятия, что уменьшает затраты на заказ таких модулей у программистов фирмы

производителя ПО. Существует необходимость отслеживать работу соответствующих служб с различных устройств помимо компьютера, поэтому так же необходимым становится наличие web-клиента.

Если взглянуть более пристально на систему 1С:Предприятие Бухгалтерия, то становится очевидным выбор столь огромного количества пользователей из среды среднего бизнеса. Заложенная гибкость настройки и встроенная система помощника бухгалтера позволяют произвести первичную настройку и регламентные операции не только администраторам, но и обычному бухгалтеру.

Если рассматривать список подходящих СУБД, то становится очевидна возможность использовать существующую инфраструктуру предприятия для внедрения этого решения. Unix и Windows сервера могут быть объединены в кластера и поддерживать оперативную работу сотен пользователей.

Множество учебных центров и распространенность франчайзи позволят обучить сотрудников предприятия и доработать любой модуль для реализации абсолютно любой нетиповой задачи с сохранением поддержки типового решения. Но некорректно будет не отметить открытый исходный код, что позволяет силами АУП предприятия произвести необходимые изменения без привлечения сотрудников франчайзи. Также существует огромное количество форумов (и крупнейший buh.ru) для общения пользователей данной системы.

Система ИС-ПРО является не такой востребованной, как 1С, т.к. используется для автоматизации в основном крупного бизнеса. Данная система обладает закрытым исходным кодом, что не позволяет вносить изменения в структура данных. Все необходимые правки приходится заказывать у производителя ПО, в том числе связанные с изменением законодательства, что значительно увеличивает её изначальную стоимость. Отсутствие тонкого клиента повышает требования к качеству канала передачи данных и аппаратной мощности рабочих станций. Т.к. данная ERP-система является не распространённой, то существуют некоторые проблемы с обучением на территории России. Соответственно со стороны технической поддержки такие же проблемы. Основным источником получения дополнительной информации является сообщество СОИД(сообщество обмена информацией с дилерами), что на деле является порталом для обмена информацией с дилерами.

Отличительной особенностью программного продукта фирмы «Парус» является возможность работать под управлением разных операционных систем (Windows и Linux), используя СУБД ORACLE для хранения информации. Логика работы решения не зависит от используемой операционной системы. Простая, удобная, гибкая для адаптации к бизнес-процессам компании, благодаря штату программистов фирмы-разработчика, которые создают модули под необходимые поставленные задачи. Данная система не требует масштабных ресурсов сети и рабочих станций. Обновление версий (релизов) программных продуктов производится автоматизированным образом. Так же переход на новую платформу потребует некоторых организационных и ресурсных затрат, но, благодаря отработанным методикам и технологиям, может быть произведен в короткие сроки и без потерь данных. Автоматизированные системы управления компании «Парус» являются отличным примером соответствия цены и качества.

Систематизированная информация по анализу указанных систем применительно к системному администратору приведена в таблице №2

Таблица №2. Систематизированная информация по анализу указанных систем применительно к системному администратору

Наименование ERP системы	Исходный код	Поддержка тонкого клиента	Требуемая СУБД	Пользовательское сообщество	Распространенность
Парус	Закрытый исходный код	Да	Только ORACLE	Развитое комьюнити	Распространено в организациях на гос финансировании
ИС-ПРО	Закрытый исходный код	Нет	MSSQL ORACLE	Комьюнити СОИД	Средняя распространённость
1С	Открытый исходный код,	Да	Возможна работа без СУБД(файловый вариант) MSSQL IBMDB2 POSTGRESQL	Многочисленные ресурсы для обучения как пользователя, так и администратора системы	Повсеместная распространённость

Выводы

Для российских предприятий среднего бизнеса главными критериями в выборе ERP-системы являются срок её внедрения, открытый системный код и цена. По итогам сформулированных требований наиболее подходящими для автоматизации бизнес-процессов являются программные продукты фирмы-разработчика 1С. Небольшой срок внедрения позволяет ввести в эксплуатацию программные продукты на предприятиях существенно быстрее других систем. Открытый системный код позволяет средствами штатных программистов предприятия реконструировать и создавать необходимые модули программы под существующие уникальные задачи, что исключает дополнительные траты на разработку таких модулей у сторонних фирм. 1С является профильным решением, это позволяет заказчику избавиться от трат на покупку полного комплекта программных продуктов, закупая необходимые функциональные модели под конкретные задачи.

Библиографический список

1. С. Петеркин Н. Овладов, Д. Исаев. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. - М.: Альпина Паблишр 2010, 368 с.
2. www.parus.ru
3. www.1c.ru
4. www.is-pro.ru

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 66.081.6; ГРНТИ 31.15.33

ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫЙ АППАРАТ ПЛОСКОКАМЕРНОГО ТИПА**О.А. Ковалева*, В.В. Хлебников**, С.И. Лазарев***** Тамбовский государственный технический университет,**Россия, Тамбов, solomina-oa@yandex.ru**** Тамбовский государственный университет имени Г.Р.Державина,**Россия, Тамбов, khlebnikovvv@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается устройство и основные конструктивные возможности электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа.

Ключевые слова. Электробаромембранный аппарат, электромикрофильтрация, пермеат, полимер.

ELECTROBAROMEMBRANE DEVICE OF PLANE-CAMERA TYPE**O.A. Kovaleva *, V.V. Khlebnikov **, S.I. Lazarev**** Tambov State Technical University,**Russia, Tambov, solomina-oa@yandex.ru**** Tambov State University named after G.R. Derzhavin,**Russia, Tambov, khlebnikovvv@mail.ru*

Annotation. The device and the basic capabilities of an electrobaromembrane apparatus of a planar chamber type are considered.

Keywords. Electrobaromembrane apparatus, electromicrofiltration, permeate, polymer.

Разработка перспективных машин и аппаратов химических производств является актуальной задачей химической промышленности, так как такие устройства делают производства более рентабельными по сравнению с теми, на которых установлено старое оборудование. Данное изобретение относится к области разделения, концентрирования и очистки растворов методами электромикрофильтрации, электроультрафильтрации, электронанофильтрации, электроосмофильтрации и может быть использовано в химической, текстильной, целлюлозно-бумажной, микробиологической, пищевой и других отраслях промышленности.

Технический результат выражается – увеличенной способностью дифференцированного выделения прикатодного и прианодного пермеата, увеличением качества и эффективности разделения растворов, снижением гидравлического сопротивления в аппарате, увеличением площади прикатодных и прианодных мембран в единице объема аппарата, в предотвращении смещения сетки-турбулизатора от рабочей части поверхности мембран для создания равномерных гидродинамических условий при разделении в электробаромембранном аппарате.

Данная идея реализуется за счет того, что чередующиеся диэлектрические камеры корпуса с “выступом” и с “впадиной” имеют прямоугольные переточные окна, в которых уложены на всю их длину и ширину в виде непрерывного полотна сверху и снизу с одной стороны чередующейся диэлектрической камеры корпуса с “выступом” и с “впадиной” по другую последовательно дренажные сетки, монополярно-пористые пластины электрод-катод и электрод-анод, пористые подложки из ватмана, прикатодные и прианодные мембраны соответственно до внешнего периметра прокладок, за исключением тех мест пористых подложек из ватмана, прикатодных и прианодных мембран где расположены прямоугольные пластины вставки толщиной 2 мм соединяющие монополярно-пористые пластины электрод-катод и электрод-анод. По внутреннему периметру прокладок расположены центральные прямоугольные углубления величиной 0,5 мм от их толщины и одной третьей их части по ширине, причем в эти центральные прямоугольные углубления по всему внутреннему периметру прокладок вставлены концы сеток-турбулизаторов представляющих собой переплетенные под углом 90 градусов в одной плоскости набор из нарезок катионообменных и анионообменных мембран. В пространстве прямоугольного переточного

окна чередующейся диэлектрической камеры корпуса с “выступом” и с “впадиной” образован межмембранный канал который на всю ширину и высоту под прокладкой и от прокладки до прокладки с одной стороны чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” по другую залит полимерной заливкой. Межмембранный канал также образован в тех местах, где расположена сетка-турбулизатор. Внутренние поверхности диэлектрических фланцев корпуса снабжены уложенными последовательно друг на друга дренажными сетками, монополярно-пористыми пластинами электродом-катодом, пористые подложки из ватмана, прикатодными мембранами соответственно. На чередующихся диэлектрических камерах корпуса с “выступом” и с “впадиной” имеются двусторонние отверстия для подвода электрических проводов залитые полимерным компаундом от отрицательной и положительной клемм устройства для подвода постоянного электрического тока соединенные с дренажными сетками. На внутренней стороне диэлектрических фланцев корпуса имеется отверстие для подвода электрического провода от отрицательной клеммы устройства для подвода постоянного электрического тока к дренажной сетке. Каналы для отвода прикатодного пермеата с диэлектрической сеткой по всей площади, расположенные в тех же местах, что и на чередующихся диэлектрических камерах корпуса с “выступом” и с “впадиной” на которых расположены каналы для отвода прикатодного и прианодного пермеата и отверстий для подвода электрических проводов в зависимости от схемы подключения электродов “минус” или “плюс”.

Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа, представленный на рисунке 1, состоит из чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 соответственно имеющих прямоугольные переточные окна 19, в которых уложены на всю их длину и ширину в виде непрерывного полотна сверху и снизу с одной стороны чередующейся диэлектрической камеры корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 по другую последовательно дренажные сетки 17 и 25, монополярно-пористые пластины электрод-катод и электрод-анод 14 и 30, пористые подложки из ватмана 16 и 31, прикатодные и прианодные мембраны 15 и 27 соответственно до внешнего периметра прокладок 5, за исключением тех мест пористых подложек из ватмана 16, 31, прикатодных и прианодных мембран 15, 27 где расположены прямоугольные пластины вставки 35 толщиной 2 мм соединяющие монополярно-пористые пластины электрод-катод 14 и электрод-анод, 30. По внутреннему периметру прокладок 5 расположены центральные прямоугольные углубления величиной 0,5 мм от их толщины и одной третьей их части по ширине, причем в эти центральные прямоугольные углубления по всему внутреннему периметру прокладок 5 вставлены концы сеток-турбулизаторов 13 представляющих собой переплетенные под углом 90 градусов в одной плоскости набор из нарезок катионообменных и анионообменных мембран, в пространстве прямоугольного переточного окна 19 чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 образован межмембранный канал который на всю ширину и высоту под прокладкой 5 и от прокладки 5 до прокладки 5 с одной стороны чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 по другую залит полимерной заливкой 20. Межмембранный канал также образован в тех местах, где расположена сетка-турбулизатор 13, внутренние поверхности диэлектрических фланцев корпуса 3 снабжены уложенными последовательно друг на друга дренажными сетками 17, монополярно-пористыми пластинами электродом-катодом 14, пористые подложки из ватмана 16, прикатодными мембранами 15 соответственно, на чередующихся диэлектрических камерах корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 имеются двусторонние отверстия 24 для подвода электрических проводов 26 залитые полимерным компаундом 21 от отрицательной и положительной клемм устройства для подвода постоянного электрического тока 6 соединенные с дренажными сетками 17 и 25. На внутренней стороне диэлектрических фланцев корпуса 3 имеется отверстие 24 для подвода электрического провода 26 от отрицательной клеммы устройства для подвода постоянного электрического тока 6 к дренажной сетке 17 и канал для отвода прикатодного пермеата 34 с диэлектрической сеткой 22 по всей площади, расположенные в тех же местах что и на чередующихся диэлектрических камерах корпуса с “выступом” и с “впадиной” расположены каналы для отвода прика-

тодного и прианодного пермеата 34 и 23 и отверстия 24 для подвода электрических проводов 26. Штуцеров для отвода прикатодного и прианодного пермеата 7 и 29 в зависимости от схемы подключения “минус” или “плюс”, болтов 8, шайб 9 и гаек 10, штуцеров ввода и вывода разделяемого раствора 11, 12, полимерной композиции 28, каналов ввода и вывода разделяемого раствора 32, 33 соответственно.

Чередующиеся диэлектрические камеры корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1, диэлектрические фланцы корпуса 3, штуцера ввода и вывода разделяемого раствора 11, 12, диэлектрическая сетка 22 и штуцеров для отвода прикатодного и прианодного пермеата 7, 29 в зависимости от схемы подключения “минус” или “плюс” могут быть изготовлены из капролона.

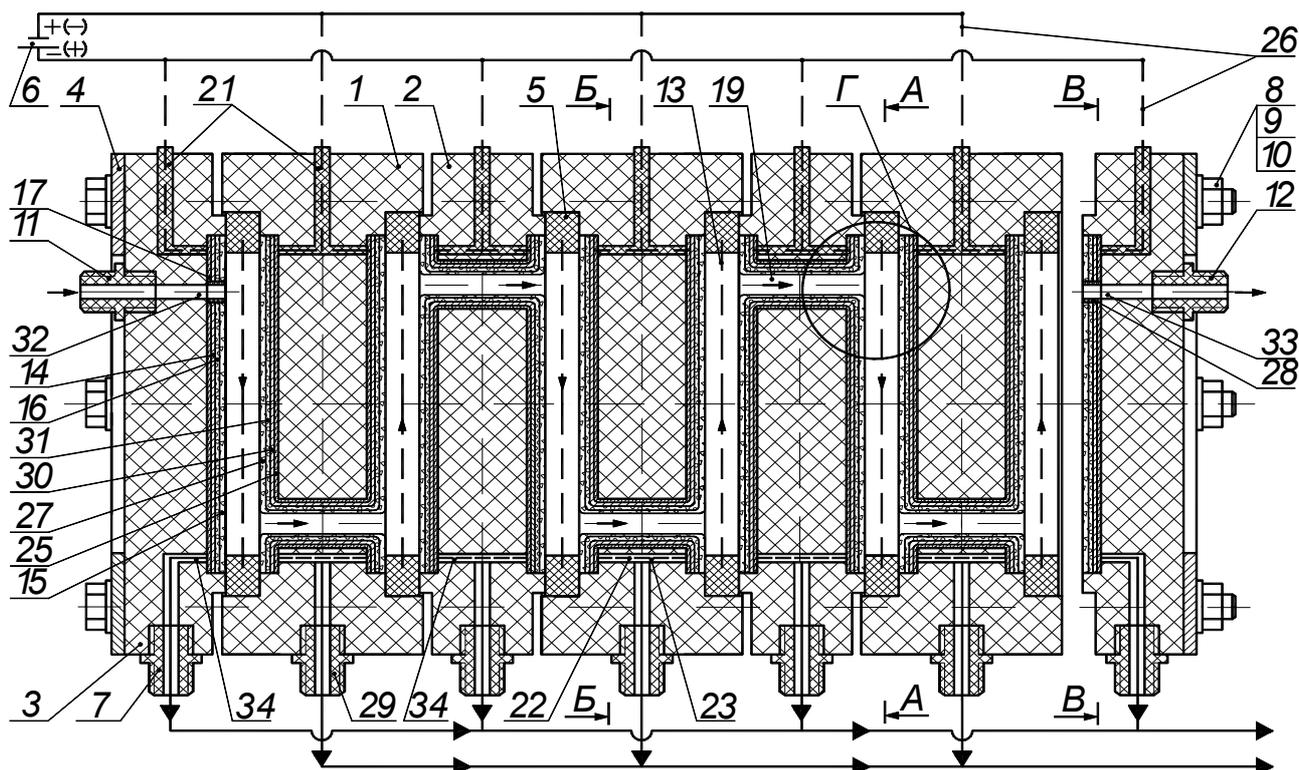


Рис. 1. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа, продольный разрез

Монополярно-пористые пластины электрод-катод и электрод-анод 14 и 30 соответственно могут быть изготовлены из 20-45 процентного пористого проката типа X18N15-ПМ, X18N15-МП, Н-МП, ЛНПИТ, ЛПН-ПМ как и прямоугольные пластины вставки 35.

Сетки-турбулизаторы 13 представляющие собой переплетенные под углом 90 градусов в одной плоскости набор из нарезок катионообменных и анионообменных мембран марок МК-40, МА-40, МК-40Л, МА-41И, МА-ИЛ, МБ-1, МБ-2.

Полимерная заливка 20, полимерный компаунд 21 и полимерная композиция 28 изготавливаются из диэлектрических герметизирующих эпоксидных смол, пластмассы или клея холодной сварка.

Дренажные сетки 17 и 25 находящиеся под монополярно-пористыми пластинами электродом-катодом и электродом-анодом 14 и 30 соответственно могут быть изготовлены из материала X18N9T, X18N10T, 20X23N18, 10X17N13M2T, 08X18T1.

Прокладка 5 может быть выполнена из паронита или прокладочной резины.

Металлические пластины 4 могут быть изготовлены из стали 3, стали 15, стали 25, стали 30, стали 45.

В качестве прикатодных и прианодных мембран 15, 27 соответственно могут применяться изготовленные в виде ленты, полотна мембраны следующих типов МГА-95, МГА-95П-Н, МГА-95П-Т, МГА-100П, ОПМ-К, ESPA, ESNA, УАМ-150П, УПМ-П, УПМ-ПП, УПМ-50, УПМ-50М, УФМ-100, УФМ-50, УФМ-П, УФМ-ПТ, ОПМН-К, ОПМН (ОФМН)-П, МФФК-0, МФФК-3, ММК, ММПА+, МПС, МФФК-Г, ММФ4, ММТ.

Аппарат работает следующим образом.

Исходный раствор под давлением, превышающем осмотическое давление растворенных в нем веществ, через штуцер ввода разделяемого раствора 11 расположенный на диэлектрическом фланце корпуса 3, подается, минуя полимерную композицию 28 по каналу ввода разделяемого раствора 32, (рис. 1) в первую камеру разделения образованную прикатодной мембраной 15, прокладкой 5 по внутреннему периметру которой расположены центральные прямоугольные углубления величиной 0,5 мм от их толщины и одной третьей их части по ширине. Причем в эти центральные прямоугольные углубления по всему внутреннему периметру прокладки 5 вставлены концы сетки-турбулизатора 13 представляющей собой переплетенные под углом 90 градусов в одной плоскости набор из нарезок катионообменных и анионообменных мембран соответственно, и прианодной мембраны 27, образуя, таким образом, межмембранный канал в тех местах, где расположена сетка-турбулизатор 13 и где она отсутствует в прямоугольном переточном окне 19.

В этот же момент времени к чередующимся диэлектрическим камерам корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1, и диэлектрическим фланцам корпуса 3, включением устройства для подвода постоянного электрического тока 6 через электрические провода 26 проходящих в отверстиях 24, которые залиты полимерным компаундом 21 и соединенных с дренажными сетками 17 и 25, к аппарату подводится внешнее постоянное электрическое поле с заданной плотностью тока.

Раствор, двигаясь, перемешивается при помощи сетки-турбулизатора 13, поступает к прикатодной и прианодной мембранам 15 и 27 соответственно, в зависимости от схемы подключения “минус” или “плюс”.

Из образовавшейся между прикатодными, прианодными мембранами 15, 27 расположенными на диэлектрическом фланце корпуса 3 и диэлектрической камере корпуса с “впадиной” 1 и прокладкой 5 камеры разделения, катионы и анионы, проникающие через прикатодную и прианодную мембраны 15 и 27, пористые подложки из ватмана 16 и 31, монополярно-пористые пластины электрод-катод и электрод-анод 14 и 30, дренажные сетки 17 и 25 уложенные последовательно друг на друга, проходят в пространстве между диэлектрическим фланцем корпуса 3 и монополярно-пористой пластине электрод-катод 14 и диэлектрической камеры корпуса с “впадиной” 1 и монополярно-пористой пластине электрод-анод 30 и по каналам для отвода прикатодного и прианодного пермеата 34 и 23 отводятся через штуцера для отвода прикатодного и прианодного пермеата 7 и 29 в виде оснований и кислот и газа в зависимости от схемы подключения “минус” или “плюс”.

Оставшиеся в камере разделения анионы и катионы, движущиеся в ядре потока сетки-турбулизатора 13, переходят через прямоугольное переточное окно 19, межмембранного канала увеличенной площади в диэлектрической камере корпуса с “впадиной” 1, причем общая площадь одного прямоугольного переточного окна 19 составляет $S_{пр. пер. окна} = a_{длина} \cdot b_{высота}$, в следующую (вторую) камеру разделения, образованную соединенными между собой диэлектрическими камерами корпуса с “впадиной” и с “выступом” 1 и 2, с последовательно уложенными на них и друг на друга дренажными сетками 25 и 17, монополярно-пористыми пластинами электродом-анодом и электродом-катодом 30 и 14, пористыми подложками из ватмана 31 и 16, прианодными и прикатодными мембранами 27 и 15 соответственно в виде кислот и оснований и газа в зависимости от схемы подключения “минус” или “плюс”, при этом в пространстве прямоугольного переточного окна 19 чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 образован межмембранный канал который на всю ширину и высоту

под прокладкой 5 и от прокладки 5 до прокладки 5 с одной стороны чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 2 и 1 по другую залит полимерной заливкой 20.

Раствор переходит из первой камеры разделения во вторую камеру разделения и далее по всем камерам разделения через прямоугольные переточные окна 19 увеличенной площади в чередующихся диэлектрических камерах корпуса с “впадиной” и с “выступом” 2 и 1 всего аппарата, где происходит аналогичное разделение, катионы и анионы отводятся с пермеатом через прикатодные и прианодные мембраны 15 и 27 и по каналам для отвода прикатодного и прианодного пермеата 34 и 23, отводятся через штуцера для отвода прикатодного и прианодного пермеата 7 и 29 в виде оснований и кислот в зависимости от схемы подключения “минус” или “плюс”, а ретентат выводится минуя полимерную композицию 28 по каналу вывода разделяемого раствора 33.

Исходный раствор, протекая по всем камерам разделения последовательно через весь межмембранный канал от одного диэлектрического фланца корпуса 3 до второго диэлектрического фланца корпуса 3 очищается от катионов и анионов в зависимости от схемы подключения “минус” или “плюс”, причем в прикатодном и прианодном пермеате содержатся различные растворенные газы, выделившиеся на монополярно-пористых пластинах электроде-катоде и электроде-аноде 14 и 30 соответственно в результате электрохимических реакций.

Под увеличенной способностью дифференцированного выделения прикатодного и прианодного пермеата понимается раздельное выделение катионов, анионов и газов, выделившихся на электродах в результате электрохимических реакций в отличие от аналога и прототипа.

Увеличение качества и эффективности разделения растворов, увеличение площади прикатодных и прианодных мембран в единице объема аппарата достигается за счет того, что прямоугольные переточные окна 19 чередующихся диэлектрических камер корпуса с “впадиной” и с “выступом” 2 и 1 всего аппарата выполнены увеличенной площади, причем общая площадь одного прямоугольного переточного окна 19 составляет

$$S_{\text{пр. пер. окна}} = a_{\text{длина}} \cdot b_{\text{высота}} .$$

Снижение гидравлического сопротивления в аппарате достигается за счет того, что межмембранный канал образован в тех местах, где расположена сетка-турбулизатор 13 и где она отсутствует в прямоугольном переточном окне 19.

Предотвращение смещения сетки-турбулизатора 13 от рабочей части поверхности прикатодных и прианодных мембран 15 и 27 для создания равномерных гидродинамических условий при разделении в электробаромембранном аппарате осуществляется из-за того, что по внутреннему периметру прокладок 5 расположены центральные прямоугольные углубления величиной 0,5 мм от их толщины и одной третьей их части по ширине, причем в эти центральные прямоугольные углубления по всему внутреннему периметру прокладок 5 вставлены концы сеток-турбулизаторов 13 представляющих собой переплетенные под углом 90 градусов в одной плоскости набор из нарезок катионообменных и анионообменных мембран

Назначение полимерной заливки 20 заключается в том, что в пространстве прямоугольного переточного окна 19 чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 1 и 2 образован межмембранный канал который на всю ширину и высоту под прокладкой 5 и от прокладки 5 до прокладки 5 с одной стороны чередующихся диэлектрических камер корпуса с “выступом” и с “впадиной” 1 и 2 по другую залит полимерной заливкой 20, что предотвращает попадание исходного раствора, минуя прикатодные и прианодные мембраны 15 и 27 в пермеат.

Канал для отвода прикатодного пермеата 34, на диэлектрическом фланце корпуса 3 оснащен диэлектрической сеткой 22 по всей площади, который расположен в тех же местах внутрен-

ней поверхности, что и на чередующихся диэлектрических камерах корпуса с “выступом” и с “впадиной” 1 и 2, на которых расположены каналы для отвода прикатодного и прианодного пермеата 34, 23 оснащенные также диэлектрическими сетками по всей площади 22, а также имеющие отверстия 24 для подвода электрических проводов 26 в зависимости от схемы подключения электродов “минус” или “плюс”.

На разработанной конструкции электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа без наложения электрического поля можно проводить баромембранные процессы, например обратный осмос, нанофильтрацию, ультрафильтрацию и микрофильтрацию.

УДК 661.719.2; ГРНТИ 61.51.81

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ НЕФТИ, ОСНОВАННЫХ НА ОКИСЛЕНИИ СЕРЫ

М.Д. Агаев, Ю.М. Стрючкова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, myslime@mail.ru*

Аннотация. Дана краткая характеристика методов определения серосодержащих соединений нефти, основанных на окислении серы и последующем определении оксидов. Проведен сравнительный анализ этих методов на основе их возможностей, ограничений, преимуществ и недостатков.

Ключевые слова. Серосодержащие соединения нефти, калориметрическая бомба, кварцевая горелка, ультрафиолетовая флуоресценция.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINATION OF SULFUR-CONTAINING OIL COMPOUNDS BASED ON SULFUR OXIDATION

M.D. Ahgaev, Yu.M. Stryuchkova

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, myslime@mail.ru*

Abstract. A brief description of methods for determination of sulfur-containing petroleum compounds based on sulfur oxidation and subsequent determination of oxides is given. A comparative analysis of these methods based on their capabilities, limitations, advantages and disadvantages.

Keywords. Sulfur-containing compounds of oil, calorimetric bomb, quartz burner, ultraviolet fluorescence.

В настоящее время развитие нефтеперерабатывающей промышленности стремительно набирает обороты. Это, в свою очередь, ведёт к постоянному повышению требований к качеству нефтепродуктов. Одним из природных компонентов сырой нефти является сера. Сера и ее соединения отрицательно влияют на качество нефтепродуктов: придают им неприятный запах, вызывают и усиливают коррозию оборудования, отравляют катализаторы переработки нефти, загрязняют атмосферу при выделении оксидов серы, тем самым создавая экологические проблемы. Поэтому необходимо все этапы переработки нефти сопровождать тщательным мониторингом сырья и нефтепродуктов на предмет обнаружения общей серы. Показатель «общая сера» включает ряд соединений серы, входящих в состав нефтепродуктов (элементную серу, сероводород, органические сульфиды и дисульфиды, тиолы и тиофены) и нефти (сероводород, метил-, этилмеркаптаны).

Методы, которые используют для определения общей серы в нефти и нефтепродуктах, можно разделить на три группы: 1) методы, основанные на окислении серы, 2) методы, основанные на восстановлении серы и 3) спектральные методы. Наиболее многочисленной и

широко используемой является первая группа методов. Сущность их сводится к окислению серы и последующему определению оксидов серы [1].

Целью работы было проанализировать методы, которые используются для определения в нефти серы путем ее окисления, дать их краткую характеристику, выявить основные преимущества и недостатки.

Выделяют следующие окислительные методы определения общей серы в нефти:

- бомбовый метод;
- ламповый метод;
- сжигание в кислородно-водородной горелке;
- высокотемпературный метод;
- сжигание в кварцевой трубке;
- окислительная микрокулонометрия;
- УФ флуоресценция.

Данные методы позволяют исследователю определить суммарное количество серосодержащих соединений в нефти, полуфабрикатах и продуктах нефтепереработки, к примеру, в топливах и смазках [1].

Бомбовый метод разработан в 1922 году, является самым «старым» методом для определения количества серы в углеводородах, полученных из нефти.

Метод реализуется по следующему плану:

1. взвешенный образец сжигают в заполненной сжатым кислородом калориметрической бомбе;
2. полученный диоксид серы SO_2 поглощают щелочью;
3. образовавшиеся сульфиты подвергают окислению до сульфатов;
4. при помощи гравиметрического осаждения хлористым барием получают $BaSO_4$;
5. производят взвешивание осадка $BaSO_4$ и из соотношения молярных масс элементов рассчитывают содержание серы.

Бомбовый метод не используют, если нефтепродукты при сжигании образуют серосодержащие, нерастворимые в воде осадки, или содержат металлы. По отношению к летучим нефтепродуктам, его применение затруднительно. Содержание массовой доли серы в нефтепродуктах, а также смазочных маслах с присадками, пластичных смазках, должно быть не менее 0,1 %. При малом содержании серы в нефтепродуктах (навеска испытуемого образца не должна превышать 0,8 г) точность метода снижается.

Ламповый метод является более эффективным методом по сравнению с бомбовым методом. В ламповом методе определяют серу в светлых нефтепродуктах (бензине, керосине), а также в других жидких нефтепродуктах, которые полностью сгорают в лампе аппарата. Однако метод не распространен по отношению к нефти и маслам с присадками. Нижняя граница определения серы в продукте по ее массовой доле – не менее 0,01 %. Анализ проводят следующим образом. Сначала образец сжигают в замкнутой системе, используя лампу с хлопчатобумажным фитилем. Далее образовавшийся диоксид серы поглощают и окисляют при помощи пероксида водорода до серной кислоты. После этого полученный раствор продувают воздухом для удаления углекислого газа, растворенного в нем. Сера, содержащаяся в виде сульфата, определяется титрованием раствора гидроксидом натрия. Время сжигания образца не устанавливают. При горении пробы должна отсутствовать копоть [2].

Метод сжигания в кислородно-водородной горелке также основан на полном сжигании пробы. Однако данный метод предназначен для анализа сжиженных газов и жидких углеводородов. В отличие от предыдущего метода, вместо лампы используется кислородно-водородная горелка. Сущность метода заключается в том, что пропускают испаряемый образец через увлажненную свинцово-ацетатную реактивную бумагу при заданных условиях. Се-

родоводород H_2S , содержащийся в исходном веществе, взаимодействует с ацетатом свинца с образованием сульфида свинца, который окрашивает бумагу. В зависимости от количества присутствующего сероводорода цвет фильтра будет меняться от желтого к черному (при малом и большом содержании H_2S , соответственно). Данный метод применим в диапазоне содержания общей серы от 0,1 до 300 ppm. Аналогичным способом определяются следовые количества летучих хлоридов в бутан-бутеновых смесях, а концентрация сульфат или хлорид ионов определяется титрованием. В настоящее время метод не используется в связи с малой точностью получаемого результата при его крайне высокой трудоёмкости.

Высокотемпературный метод по сравнению с предыдущими методами предназначен для нефтепродуктов кипящих выше $177^\circ C$, с содержанием серы не менее 0,06 %. Применяется по отношению к смазочным маслам с присадками и концентрированным присадкам. Также возможен анализ кокса с содержанием серы до 8 %. Высокотемпературным называется в связи с тем, что он использует полное сжигание анализируемой пробы в керамической трубчатой печи при температуре $1350-1482^\circ C$ в потоке кислорода. Используются печи, как с индукционным, так и с резистивным нагревом.

Метод имеет две разновидности: 1) с детектированием иодатным титрованием; 2) с инфракрасным детектированием.

Продукты при детектировании иодатным титрованием улавливаются таким же абсорбером, что и в ламповом методе, и титруется раствором иодата калия. Иодат добавляют до тех пор, пока не исчезнет голубая окраска приемного раствора, полученного добавлением йода и крахмала.

В инфракрасном детектировании оксиды серы определяют по полосам поглощения ими инфракрасного излучения. Такой принцип используется в CS – анализаторе. Количество серы определяют по предварительно выполненной калибровке с применением калибровочных образцов, близких по матричному составу к анализируемым образцам [1, 2].

Метод сжигания в кварцевой трубке напоминает первые два метода и заключается в сжигании испытуемого образца в кварцевой трубке при температуре $900-1200^\circ C$, с дальнейшим поглощением продуктов сгорания и титриметрическим окончанием. Для сжигания используют воздух. Продукты сгорания поглощаются раствором перекиси водорода, который окисляет продукты сгорания серы до сульфатов. Диапазон определения содержания серы от 0,1 до 5,0 %. Также как и высокотемпературный метод, данный метод используют для анализа темных нефтепродуктов, включая масла и остаточные нефтепродукты, а также кокс и серосодержащие присадки. Метод не распространяется на присадки, содержащие металлы, фосфор и хлор, а также на масла с этими присадками.

Метод окислительной микрокулонометрии основан на анализе легких углеводородов с диапазоном температур кипения $26-274^\circ C$ с концентрацией серы от 3,0 до 100 ppm. Метод не применяют к образцам, содержащим тяжелые металлы. Сущность метода заключается в том, что жидкий образец инжектируют в поток газа. При сгорании образца сера окисляется до диоксида, который поступает в титровальную ячейку, заполненную электролитом. Диоксид серы титруется триодид-ионами, генерируемыми в ячейке под действием тока. Нижний предел количественного определения серы данным методом составляет в бензинах 3 мг/кг и в дизельных топливах 5 мг/кг. При этом для определения серы используемые оборудования и реактивы должны быть чистыми.

Метод УФ флуоресценции был впервые утвержден в 1993 г. Этот метод является наиболее универсальным, он разработан для анализа топлив, масел, бензин-оксигенатных смесей, этанола. Испытуемый продукт полностью сжигают в кислороде с получением оксидов при температуре $1075\pm 25^\circ C$. Одновременно при сжигании углеводородов образуются двуокись углерода и вода, которую удаляют, пропуская газовый поток через мембранный осушитель, действие которого основано на диффузии молекул воды через трубчатый полимерный материал, проницаемый для воды, но непроницаемый для газа. Продиффундировавшую

воду удаляют встречным потоком сухого газа. Осушенный газ, образовавшийся после сгорания пробы, поступает в ультрафиолетовый детектор, где облучается ультрафиолетовым светом. Молекулы SO₂, поглощая энергию ультрафиолетового излучения, переходят в возбужденное состояние, а при обратном переходе в стабильное состояние выпускают кванты света с длиной волны, которая отличается от длины волны возбуждающего света. Излученную энергию регистрирует фотоумножитель, преобразуя ее в электрический сигнал. Достоинством метода является отсутствие необходимости использования водных растворов, которые способны активно поглощать оксиды серы, тем самым уменьшая достоверность результатов анализа [2].

Приведенная краткая характеристика принципов, лежащих в основе окислительных методов определения общей серы в нефти и нефтепродуктах, показывает их основные возможности, достоинства и недостатки. Наиболее точным из рассмотренных выше методов является метод УФ флуоресценции, кроме того, благодаря своей универсальности, этот метод подходит для исследования широкого спектра нефтепродуктов. Большое разнообразие окислительных методов позволяет их использовать в различных условиях в зависимости от технических и экономических возможностей лабораторий.

Библиографический список

1. Subhash C.B., Ram J.S., Birbal B., Sudesh K. Determination of sulfur content in petroleum products – an overview // Journal of Sulfur Chemistry. 2017. V.38. P. 1-15.
2. Новиков Е.А. Определение серы в нефтепродуктах. Обзор аналитических методов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2008. №1. С. 28-33.

УДК 661.724; ГРНТИ 61.37.29

ХИМИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА

Д.В. Афанасьев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, magistr7826@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются теоретические и практические вопросы химического синтеза этил-трет-бутилового эфира, основные преимущества использования этил-трет-бутилового эфира в качестве высокооктановой кислородсодержащей добавки в высокооктановых бензинах.

Ключевые слова. Этил-трет-бутиловый эфир, химический синтез

CHEMICAL POSSIBILITIES OF SYNTHESIS OF ETHYL TERT-BUTYL ETHER

D.V. Afanasiev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, magistr7826@mail.ru*

Abstract. Theoretical and practical issues of chemical synthesis of ethyl-tert-butyl ether, the main advantages of using ethyl-tert-butyl ether as a high-octane oxygen-containing additive in high-octane gasoline are considered.

Keywords. Ethyl-tert-butyl ether, chemical synthesis.

Экологические проблемы загрязнения окружающей среды стали основанием для ужесточения требований по улучшению качества моторных топлив.

Перспективные требования к качеству автобензинов предусматривают снижение содержания серы и бензола в автобензинах, а также ароматических углеводородов до содержания не более 35% об.

Основным компонентом для получения высокооктановых бензинов является риформат. Доля бензола в риформате составляет от 3-6% об. и суммарная ароматика до 68% об. Современные технологии позволяют снизить содержание бензола в автобензинах до требуемого уровня [1].

В свою очередь, невозможно обеспечить снижение содержания суммарных ароматических углеводородов (не выше 35% об.) при достижении октанового числа бензина не ниже 95 пунктов (по ИМ), без использования высокооктановых компонентов, не содержащих ароматических углеводородов.

К таким компонентам относятся изомеризаты, алкилбензин, спирты и эфиры.

В России в настоящее время в качестве основной высокооктановой кислородсодержащей добавки применяется метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ).

Основным недостатком МТБЭ является его чрезвычайная токсичность, которая не только губительно влияет на экологию в случаях аварий и разливов, но и может вызывать тяжелые неизлечимые заболевания.

Поэтому в промышленно-развитых странах снижается потребление МТБЭ, новые мощности не вводятся, а загрузка действующих снижается, что во многом связано с ростом использования этил-трет-бутилового эфира (ЭТБЭ).

В таких странах как Франция, Испания, Германия практически полностью перешли на производство ЭТБЭ. Трет-амиловый эфир (ТАМЭ) производят в трех странах – в Германии, Италии и Финляндии.

В США во многих штатах загрязнение водоносного горизонта МТБЭ вызывает серьезные опасения. Большинство поставщиков бензина отказались от его использования в пользу этил-трет-бутилового эфира в связи с налоговыми льготами производителям.

Таким образом, МТБЭ в перспективе постигнет участь тетра-этил-свинца (ТЭС) от которого весь цивилизованный мир отказывается, несмотря на его эффективность в производстве высокооктановых автобензинов [2].

Запрет на использование МТБЭ в промышленно-развитых странах негативным образом отразится и на его экспорте из России.

Следовательно, в обозримом будущем может возникнуть вопрос и о запрете МТБЭ на использование в России по тем же соображениям.

Таким образом, либо в обозримом будущем производство МТБЭ заменится на ЭТБЭ, либо Россию ждут неблагоприятные экономические и экологические последствия.

Основными преимуществами ЭТБЭ являются:

- в настоящее время отсутствуют данные токсичности ЭТБЭ и его вредном экологическом воздействии на окружающую среду.
- не впитывает влагу, т.е. ЭТБЭ не гигроскопичен.
- за счет прекрасной испаряемости ЭТБЭ не имеет проблем с холодным пуском (пуском холодного двигателя зимой).
- за счет высокого содержания кислорода ЭТБЭ обеспечивает наиболее полное сгорание топлива, что сводит к минимуму загрязняющие атмосферу выбросы CO, CO₂, NO, NO_x, SO₂.
- позволяет увеличивать октановое число смесевых топлив за счет добавки ЭТБЭ к бензинам, поскольку ЭТБЭ имеет высокое октановое число (115-120 по исследовательскому методу).
- ЭТБЭ не образует пероксидных соединений, что значительно повышает безопасность его хранения и использования.

Более высокая температура кипения ЭТБЭ 72,8° и более низкое давление насыщенных паров позволяет вовлекать при смешении его с автобензинами дополнительные

ресурсы бутановых фракций. Таким образом, из представленных кислородсодержащих соединений по качественным характеристикам ЭТБЭ имеет несомненное преимущество.

ЭТБЭ получают в аналогичных условиях и на том же оборудовании, что и метил–трет–бутиловый эфир. Синтез осуществляется из изобутилена и этилового спирта при температуре ниже 100°C и давлении 1-2МПа в условиях кислотного катализа.

Проблема заключается в том, что в настоящее время в России отсутствует спрос на ЭТБЭ из-за его высокой стоимости по сравнению с МТБЭ.

Так, себестоимость производства ЭТБЭ при существующих ценах на исходное сырье на 40% выше, чем у МТБЭ. В сложившихся условиях целесообразность организации производства ЭТБЭ в России будет определяться эффективностью его экспорта на внешние рынки, где его стоимость на 200-300 \$ выше чем у МТБЭ.

Этил-трет-бутиловый эфир ЭТБЭ – это продукт синтеза изобутилена с этанолом:



Технологическая схема выглядит следующим образом: компоненты сырья, нагретые в теплообменнике, проходят через реактор, где отводится избыточное тепло (реакция экзотермическая) и разделяются в двух колоннах.

В первой ректификационной колонне от реакционной смеси отделяется н-бутан и бутилены, идущие затем на алкилирование (изомеризацию), а во второй – сверху готовый ЭТБЭ, а снизу избыток этанола, который возвращается в сырьевую смесь.

Катализатором служит ионообменная смола (сульфокатиониты), степень конверсии составляет 94 % (по изобутилену), чистота получаемого ЭТБЭ – 99 %.

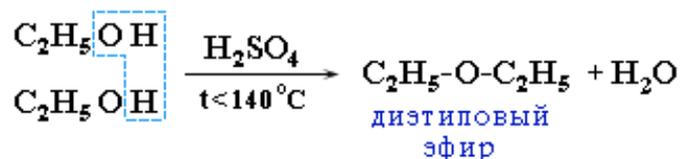
На 1 тонну ЭТБЭ расходуется 360 кг этанола (100% этилового спирта) и 690 кг 100 %-го изобутилена [3].

При производстве ЭТБЭ в настоящее время используют Бутан-бутиленовую фракции газов крекинга нефти с содержанием изобутилена всего-лишь около 10% или Бутилен-Изобутиленовую фракцию БИФ. Именно поэтому производство ЭТБЭ до сих пор широко не развито.

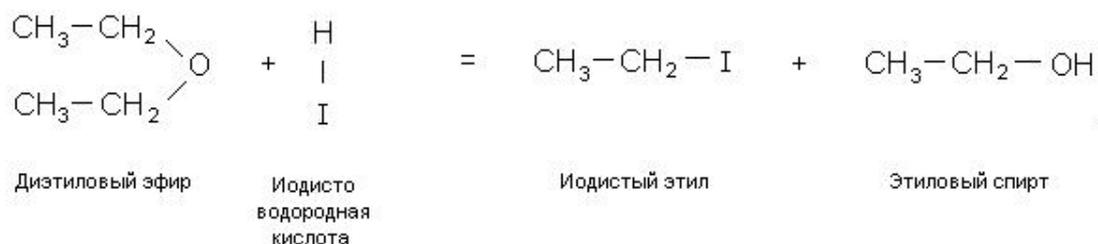
Предполагается возможным производить изобутилен из этилового спирта (спирт-бутан-изобутан-изобутилен), т.е. производить изобутилен из биоэтанола (100% этилового спирта), который в последующем использовать для получения ЭТБЭ [4].

Первая реакция (спирт-бутан) предполагается осуществлять в 3 этапа:

1. Нагреванием с концентрированной серной кислотой спирты теряют молекулу воды (при избытке спирта, протекает межмолекулярная дегидратация, при этом образуется диэтиловый эфир:

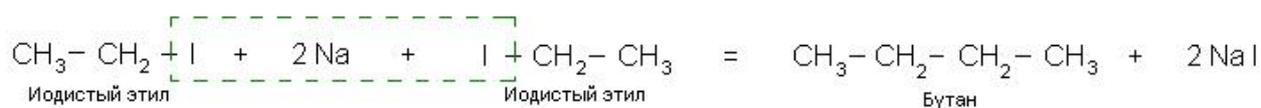


2. Действием иодистоводородной кислоты на диэтиловый эфир, в результате разложения последнего на галогеналкил (иодопроизводное) и спирт:

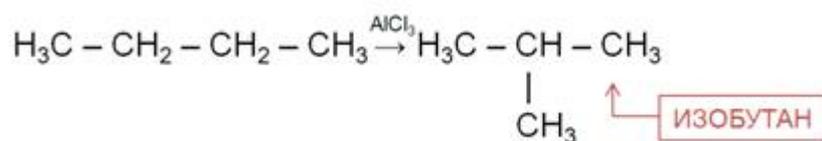


3. Синтезом Вюртца при действии металлического натрия на галогенопроизводные, в данном случае галогеналкил образуется бутан.

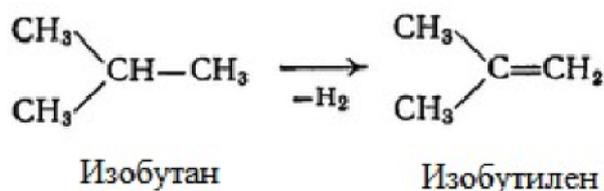
Реакция протекает по схеме:



Из бутана методом изомеризации может быть получен изобутан:



Из изобутана методом дегидрирования может быть получен изобутилен:



Последующей этерификацией изобутилена этиловым спиртом получают кислородосодержащую добавку к бензину - экологически чистый этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ), имеющий октановое число 112 пунктов (Исследовательский метод).

Библиографический список

1. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. 4-е изд. – М.: Химия, 1988. – 592 с.
2. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 536 с.
3. Научно-информационный справочник; Переработка нефти и нефтехимия за рубежом 1996 г.- № 1-С.15.
4. Справочник нефтехимика. В двух томах. Т. 1 / Под ред. С.К. Огородникова. – Л.: Химия, 1978. – 496 с.

УДК 665.75:665.7.03; ГРНТИ 61.13

АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПРИСАДОК, ВОВЛЕКАЕМЫХ В ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЗИМНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА КАЧЕСТВО ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ

Д.А. Глебов, Т.П. Шуварилова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, rgrtu@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе проанализирована работа присадок вовлекаемых при производстве дизельного топлива, как по отдельности, так и при комплексном вовлечении. Приводятся критичные показатели качества зимнего дизельного топлива в соответствии с ГОСТ 32511-2013, на улучшение которых и рассчитаны присадки. Описываются проблемы с качеством товара при взаимном вовлечении присадок и предлагаются способы их решения.

Ключевые слова. Зимнее дизельное топливо, комплексное вовлечение присадок в дизельное топливо, взаимное влияние присадок на качество.

Введение

В настоящее время возросла роль дизельного топлива как одного из главных видов топлив для современного транспорта. Это связано со все более возрастающим объемом автомобилей с дизельными двигателями внутреннего сгорания, как в России, так и по всему миру. Дизельные двигатели, по сравнению с бензиновыми двигателями, имеют более высокую экономичность, используют более дешевое топливо, выдают большую мощность.

С каждым годом дизельные двигатели совершенствуются как для удовлетворения потребительского спроса, так и для соответствия высоким экологическим стандартам. Все это в свою очередь ставит перед производителями дизельного топлива сложную задачу по выпуску высококачественной продукции, особенно в холодное время года, когда к качеству дизельного топлива предъявляются повышенные требования.

Производство зимнего дизельного топлива

Для производства зимнего дизельного топлива из нефти на установках первичной переработке выделяют дизельную фракцию 180-360°C [1]. Для улучшения качества, дизельная фракция поступает на установку гидроочистки дизельного топлива. На выходе с установки гидроочищенное дизельное топливо анализируют на соответствии показателям качества.

В нашей стране качество зимнего дизельного топлива регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 32511-2013. Основными критичными требованиями этого стандарта для нефтеперерабатывающих заводов являются предельная температура фильтруемости и смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при температуре 60°C [2].

Предельная температура фильтруемости (ПТФ) – важнейший эксплуатационный показатель, характеризующий прокачиваемость топлива при низких температурах. Определяют как температуру, при которой постепенно охлаждаемое топливо перестает протекать через стандартную фильтрующую установку в течение определенного времени [3].

Смазывающая способность – показатель, оценивающий изнашивание трущихся пар топливной системы, работающих в среде дизельного топлива [3].

Для соответствия этим требованиям в зимнее дизельное топливо на заводах добавляют депрессорно-диспергирующие и смазывающие присадки. Но после вовлечения пакета присадок в том же количестве, что и при вовлечении по отдельности каждого вида присадок, очень часто не получается выйти на итоговое качество товарной продукции по показателям ПТФ и смазывающей способности.

Испытание и анализ

Для решения проблемы получения качественного топлива при вовлечении комплекса присадок были проведены испытания по вовлечению одних из наиболее применяемых присадок депрессорно-диспергирующей Keroflux и смазывающей присадки Комплексал ЭКО-Д в гидроочищенное дизельное топливо.

В ходе работы на первом этапе было проведено испытание базового гидроочищенного топлива на интересные показатели качества. Результат вывели в таблицу № 1

Таблица 1. Показатели качества гидроочищенного дизельного топлива

Топливо	ПТФ, °С	Смазывающая способность, мкм
Дизельное гидроочищенное	-18	612

Из данных показателей следует несоответствие требованиям ГОСТ 32511-2013 (ПТФ не выше -26°C ; смазывающая способность не более 460 мкм), поэтому появляется необходимость вовлечения присадок.

На втором этапе присадки в гидроочищенное дизельное топливо вводились по отдельности и в разных концентрациях. Полученные результаты показывают влияние присадок на качество зимнего дизельного топлива. Дополнительно для вовлечения депрессорно-диспергирующей были представлены две температуры гидроочищенного дизельного топлива.

На третьем этапе вводился пакет присадок, с различной концентрацией смазывающей присадки Комплексал ЭКО-Д и депрессорно-диспергирующей Keroflux концентрацией 400 гр/тн, обеспечивающей необходимый запас качества по ПТФ при возможном изменении углеводородного состава дизельного топлива.

Все результаты, полученные на втором и третьем этапе, сведены: для определения соответствия показателю качества по ПТФ в таблицу № 2; для определения соответствия показателю качества по смазывающей способности на рисунке 1.

Таблица 2. Изменение предельной температуры фильтруемости гидроочищенного дизельного топлива с вовлечением присадок

Температура вовлечения, °С	Концентрация депрессорно-диспергирующей Keroflux, гр/тн	ПТФ, °С (ДТ+ Keroflux)	ПТФ, °С (ДТ+ Keroflux+смазывающая присадка Комплексал ЭКО-Д)
22	100	-20	-20
	200	-24	-23
	300	-27	-28
	400	-29	-29
60	100	-21	-22
	200	-26	-25
	300	-28	-28
	400	-31	-31

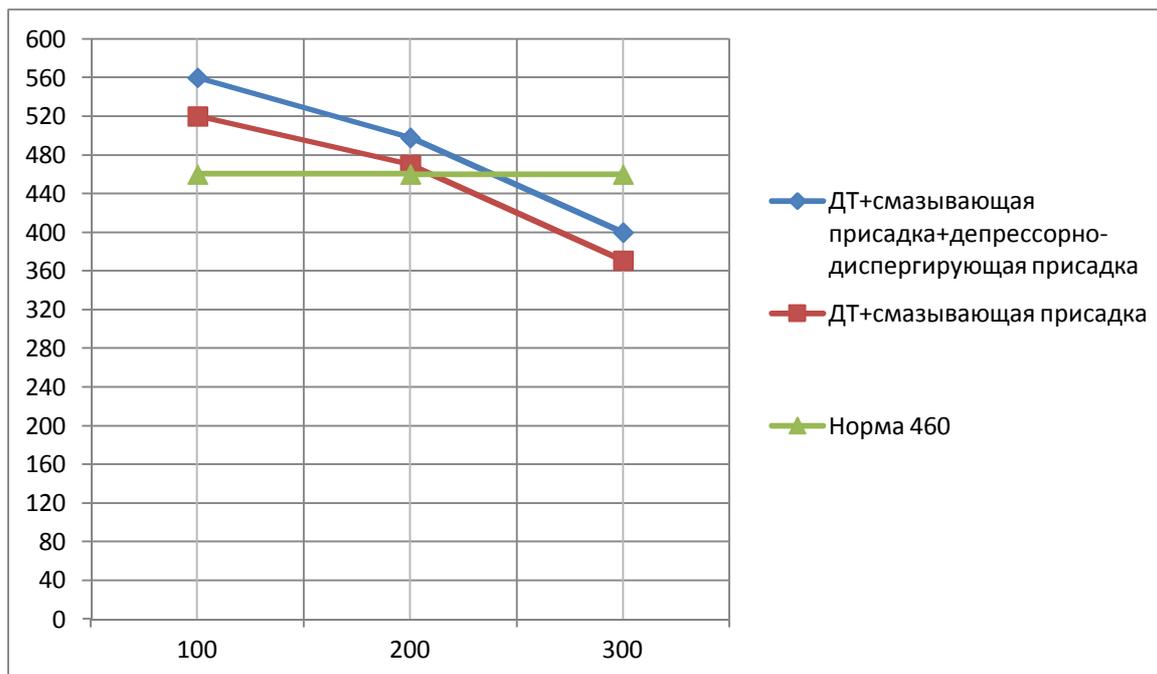


Рис. 1. График изменения диаметра пятна износа зимнего дизельного топлива

В результате исследования выявлено что:

1. Депрессорно-диспергирующая присадка эффективнее работает при вовлечении в гидроочищенное дизельное топливо с температурой не менее 60 °С, т.к. эта температура способствует полному расплавлению парафинов в дизельном топливе.
2. Смазывающая присадка практически не влияет на работу депрессорно-диспергирующей присадки, что видно из результатов, приведённых в таблице №2.
3. Вовлечение депрессорно-диспергирующей присадки в комплексе со смазывающей значительно ухудшает работу последней.

Выводы и рекомендации

1. Перед постановкой на производство присадок обязательно необходимо провести ряд испытаний по проверке их работоспособности в базовом дизельном топливе, как по отдельности, так и в составе пакета присадок. Это позволит в дальнейшем избежать значительных финансовых затрат, связанных с исправлением некачественного продукта и повышением количества вовлекаемых присадок.
2. Для наиболее эффективной работы депрессорно-диспергирующей присадки необходимо обеспечить температуру гидроочищенного дизельного топлива при вовлечении присадки не ниже 60°С.

Библиографический список

1. Мановян А.К. Технология переработки природных энергоносителей. – М.: Химия, КолосС, 2004.-456.: ил.
2. ГОСТ 32511-2013 Топливо дизельное. Технические условия.
3. Горючие, смазочные материалы: Энциклопедический толковый словарь-справочник. Изд. 2-е/ Под ред. В.М. Школьников. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» Международной Академии Информатизации», 2010. – 756 с.; ил.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕПРЕССОРНО-ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ПРИСАДОК ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

М. Сычев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязанская область, Рязань, maksrzn@mail.ru*

Аннотация. В данной работе проведена оценка эффективности применения депрессорно-диспергирующих присадок отечественных и зарубежных производителей, их влияние на низкотемпературные свойства дизельных топлив: предельную температуру фильтруемости, температуру помутнения, седиментационную устойчивость.

Ключевые слова. Дизельное топливо, депрессорно-диспергирующая присадка, низкотемпературные свойства

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF THE DEPRESSOR DISPERSING ADDITIVES DOMESTIC AND FOREIGN PRODUCERS

M. Sychev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan region, Ryazan, maksrzn@mail.ru*

Abstract. In this work assessment of efficiency of use of the depressor dispersing additives of domestic and foreign manufacturers, their influence on low-temperature properties of diesel fuels is carried out: top temperature of filterability, cloud temperature, sedimentation stability.

Keywords. Diesel fuel, the depressor dispersing additive, low-temperature properties

Введение

Улучшение низкотемпературных свойств дизельных топлив имеет большой интерес и огромное практическое значение. Это связано с особенностями климата России, а также с недостаточными мощностями НПЗ по выработке зимних дизельных топлив [1].

Низкотемпературные свойства являются основной эксплуатационной характеристикой данного вида топлива.

Одним из актуальных и перспективных способов регулирования низкотемпературных свойств межсезонных и зимних дизельных топлив является применение депрессорно-диспергирующих присадок. Этот способ считается технологически и экономически оправданным и способствует расширению применимости дизельного топлива, повышает гибкость и эффективность нефтепереработки [2].

В настоящее время на нефтезаводах в основном применяются присадки зарубежных производителей, обладающих широким ассортиментом качественных депрессорно-диспергирующих присадок и большим опытом их применения. Однако рядом ведущих российских научно-исследовательских институтов в области нефтепереработки ведутся работы по разработке и промышленному производству данного вида присадок.

Основы применения депрессорно-диспергирующих присадок

К низкотемпературным свойствам дизельных топлив относятся: температура помутнения, предельная температура фильтруемости, седиментационная устойчивость.

Температура помутнения - температура, при которой топливо мутнеет вследствие выделения капелек воды и кристаллов парафина. Чем ниже температура помутнения, тем меньше содержится в топливе растворенной воды и твердых парафинов. Влага усиливает коррозионную агрессивность топлив. Кристаллы парафинов забивают фильтры системы подачи топлива и нарушают ее прокачиваемость [3].

Предельная температура фильтруемости это температура, при которой топливо после охлаждения в определенных условиях перестает проходить через фильтр или продолжительность фильтруемости 20 см³ топлива превышает 60 с. Испытание заключается в постепенном охлаждении топлива, просасывании его через фильтр в пипетку при постоянном вакууме и фиксировании температуры через каждый 1 °С до предельной температуры [3].

Седиментационная устойчивость – склонность топлива к расслоению при хранении в условиях отрицательных температур.

Депрессорно-диспергирующая присадка состоит из 2-х компонентов депрессора и диспергатора. Назначение депрессора – снижение предельной температуры фильтруемости дизельных топлив. Главная задача диспергатора – предотвращение расслоения топлив при холодном хранении путем препятствования объединению мелких кристаллов парафинов в более крупные агрегаты.

Таким образом, депрессорно-диспергирующие присадки одновременно выполняют две функции: улучшают низкотемпературные свойства дизельных топлив и повышают их устойчивость при отрицательных температурах, что позволяет топливу, даже при достаточно низких температурах, проходить через поры фильтрующих элементов дизельного двигателя, не оказывая отрицательного влияния на его работу.

Оценка эффективности применения отечественных и зарубежных депрессорно-диспергирующих присадок

Целью данной работы является определение наиболее эффективных присадок для последующей экономической оценки их применения в Рязанской нефтеперерабатывающей компании.

Для проведения оценки была разработана программа проведения лабораторных испытаний, которая предусматривала получение дизельных топлив ЕВРО межсезонного сорта F и зимнего класс 1 по ГОСТ 32511-2013, требования к которым по низкотемпературным характеристикам приведены в таблице 1.

Таблица 1. Требования к низкотемпературным свойствам дизельных топлив

	Наименование показателя	Метод испытания	Норма	
			ДТ-Е-К5 сорт F	ДТ-З-К5 класс 1
	Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	ГОСТ 22254-92	минус 20 °С	минус 26 °С
	Температура помутнения, °С, не выше	DIN EN 23015-1994	-	минус 16 °С
	Седиментационная устойчивость при отрицательных температурах	СТО 11605031-041-2010	Стабильно	Стабильно

Испытания проводились на двух базовых дизельных топливах: ДТ-Е-К5 сорт F и ДТ-З-К5 класс 1.

Основные качественные показатели базовых дизельных топлив приведены в таблице 2.

Таблица 2. Качество базовых дизельных топлив

№	Наименование показателя	Метод испытания	База №1	База №2
1	Цетановое число	ГОСТ 3122-67	-	49,7
2	Цетановое число	ГОСТ 32508-2013	51,2	-
3	Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм	ГОСТ ISO 12156-1-2012	578	623
4	Предельная температура фильтруемости, °С	ГОСТ 22254-92	Минус 7	Минус 19
5	Температура помутнения, °С	EN 23015-1994	Минус 6	Минус 16

При проведении испытаний готовились образцы дизельных топлив с вовлечением присадок следующего назначения: депрессорно-диспергирующая; противоизносная; цетаноповышающая.

При использовании дизельных топлив с низким содержанием серы обеспечить необходимую смазывающую способность топлива невозможно без применения противоизносных (смазывающих) присадок, которые предназначены для предотвращения износа деталей дизельных двигателей.

Для повышения цетанового числа дизельных топлив также допускается применение добавок. Цетаноповышающие присадки — вещества органического происхождения, позволяющие уменьшить период задержки самовоспламенения топливной смеси [4].

Следует отметить что присадки вовлекаемые в производство дизельных топлив оказывают взаимное влияние друг на друга, что следует учитывать при проведении исследовательских работ.

Противоизносная и цетаноповышающая присадки вовлекались в базовые топлива в дозировках, применяемых при выработке дизельных топлив ЕВРО экологического класса К5 по ГОСТ 32511-2013 в Рязанской нефтеперерабатывающей компании и были постоянны, а депрессорно-диспергирующие присадки в дозировках, необходимых для достижения нормируемых значений предельной температуры фильтруемости. При испытаниях депрессорно-диспергирующих присадок начальная дозировка определялась исходя из рекомендаций поставщиков. За максимальную дозировку испытуемых принято двукратное увеличение рекомендуемых дозировок.

После подбора оптимальной дозировки присадки образцы топлив с пакетом присадок испытывались на предмет склонности данных топлив к расслоению при хранении в условиях отрицательных температур (на седиментационную устойчивость) в соответствии с СТО 11605031-041-2010.

В испытаниях участвовало 13 отечественных и 5 зарубежных депрессорно-диспергирующих присадок.

В связи с тем, что представленный ниже текст содержит информацию, которая может быть коммерчески значимой, наименования марок присадок не указываются.

После проведения подбора оптимальных дозировок и испытания на холодное хранение было выявлено, что 5 марок зарубежных и 5 марок отечественных депрессорно-диспергирующих присадок при их совместном использовании с противоизносной и цетаноповышающей присадками позволяют вырабатывать дизельные топлива ЕВРО ДТ-Е-К5, сорт F и ДТ-3-К5, класс 1 стабильного качества при следующих дозировках – таблица 4.

Таблица 4. Дозировки депрессорно-диспергирующих присадок

№	Наименование присадки	Дозировка присадки в базовом дизельном топливе, г/т	
		ДТ-Е-К5, сорт F	ДТ-Р-К5, класс 1
1	Зарубежная 1	600	400
2	Зарубежная 2	600	400
3	Зарубежная 3	600	400
4	Зарубежная 4	650	250
5	Зарубежная 5	500	150
6	Отечественная 1	1000	700
7	Отечественная 2	600	200
8	Отечественная 3	600	200
9	Отечественная 4	700	400
10	Отечественная 5	700	400

Выводы

В настоящее время в рамках политики импортозамещения крупными нефтяными компаниями и ведущими научно-исследовательскими институтами в области нефтепереработки ведутся работы по разработке отечественных депрессорно-диспергирующих присадок. Еще несколько лет назад на российском рынке не было представлено ни одной российской присадки данного вида.

По результатам проведенной оценки можно сделать вывод, что на текущий момент на рынке присадок существует несколько марок отечественных конкурентоспособных депрессорно-диспергирующих добавок к дизельным топливам.

Однако у отечественных присадок существует ряд недостатков:

1. Большие дозировки вовлечения по сравнению с импортными аналогами;
2. Отсутствие у российских производителей статистических данных по применению их присадок на дизельных топливах вырабатываемых различными заводами, что делает необходимым разработку присадки непосредственно под топливо конкретного производителя. Импортные поставщики присадок уже наработали необходимую производственную базу и могут оперативно корректировать свойства депрессорно-диспергирующих присадок практически под любое базовое топливо.
3. Отсутствие у российских производителей мощных производственных баз.
4. Осторожность нефтеперерабатывающих заводов в части привлечения новых непроверенных производителей присадок.
5. Высокая стоимость.

Данные вопросы активно решаются в настоящее время. С развитием научной базы и производственных мощностей проблема доминирования импортных депрессорно-диспергирующих присадок на российском рынке будет решена.

Библиографический список

1. Кондрашева, Н.К. Влияние синтетических и природных депрессорных присадок на низкотемпературные свойства дизельных топлив разного состава / Н.К. Кондрашева // Химия и технология топлив и масел. - 2012.
2. Тертерян, Р.А. Депрессорные присадки к нефтям, топливам и маслам / Р.А. Тертерян. - М.: Химия, 1990.
3. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс], URL: <http://www.ngpedia.ru/pg1725440JVqEqVY0001504208/> (дата обращения 11.02.18).
4. Капустин, В.М. Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками / В.М. Капустин. - М.: КолосС, 2008.

УДК: 661.7; ГРНТИ 61.51.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА БАЗОВОГО МАСЛА ГИДРОКРЕКИНГОМ ОСТАТОЧНОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ НА АО «РНПК»

В. Соленов, В. Коваленко

Рязанский государственный радиотехнический университет

Российская Федерация, Рязань, vadimsolenov3@gmail.com

Аннотация. В данной работе выполнено исследование технологий производства базового масла гидрокрекингом остаточного нефтяного сырья. Выполнен аналитический анализ ряда процессов по глубине отбора светлых продуктов, предложена перспективная установка для получения базового масла на АО «РНПК».

Ключевые слова. Гидрокрекинг, масло, изодепарафинизация, висбрекинг.

THE RESEARCH OF PRODUCTION TECHNOLOGIES OF THE BASIC MOTOR OIL VIA HYDROGEN CRACKING OF BLACK STOCK ON JSC «RORC»

V. Solenov, V. Kovalenko

Ryazan State Radio Engineering University

E-mail: vadimsolenov3@gmail.com, Ryazan, Russian Federation

Annotation. This article presents the research of production technologies of the basic motor oil via hydrogen cracking of black stock. The analysis of deep selection of the light products processes has been implemented. Besides it was offered one perspective installation for producing basic motor oil on JSC Ryazan Oil Refining Company.

Keywords. Hydrogen cracking, basic motor oil, isodewaxing, viscosity breaking

Гидрокрекинг - один из самых быстроразвивающихся процессов нефтепереработки. Мощности установок гидрокрекинга за последние 20 лет выросли в мире в 4 раза и достигли почти 250 млн. м³ сырья в год. Процесс позволяет получать практически из любого углеводородного сырья высокий выход широкого ассортимента высококачественных компонентов основных нефтепродуктов - сжиженных газов, реактивных и дизельных топлив, компонентов масел и др. [1].

Наиболее перспективным является гидрокрекинг остаточного сырья. В настоящее время на большинстве нефтеперерабатывающих заводов в России для переработки нефтяных остатков используются термические процессы. В частности, на АО «РНПК» используется висбрекинг. Конверсия сырья в процессе висбрекинга составляет 4 – 30 %, отбор светлых нефтепродуктов из гудрона не превышает 5 – 20 %, а из мазута 16 – 22 %. У процесса гидрокрекинга нефтяных остатков, например, LC-Fining, конверсия сырья более 90 %, отбор светлых нефтепродуктов из мазута 40-45%, из гудрона 30-35% [1]. Практически ни один существующий термический процесс переработки остаточного сырья не может конкурировать с гидрокрекингом по глубине переработки и качеству получаемых продуктов [2].

На основе процесса гидрокрекинга возможно решение другой проблемы отечественной нефтепереработки - производства высококачественных масел. Несмотря на то, что российский рынок смазочных материалов крупнейший в Европе и пятый в мире, большую часть его продукции составляют масла I группы [3]. Чтобы конкурировать с импортерами в сегменте высококачественных моторных масел, необходимо производство более высококачественных масел (II и III группы).

Концепция получения базовых компонентов масел путем гидрокрекинга известна еще с 1930-х годов. Но широкое распространение она получила после Второй мировой войны, примерно в то же время, что и технология гидрокрекинга для производства топлив. В 1967 году была запущена первая установка по производству базовых компонентов масел на заводе

Empress Nacional Calco Sotelo в Испании. Сырьем данной установки служили тяжелый вакуумный газойль и деасфальтированные масла, полученные из нефти компании Арамко на Ближнем Востоке [4].

Новым этапом в развитие гидрокаталитических процессов стала разработка процессов каталитической депарафинизации и гидроизомеризации. В 1993 году первый современный процесс изомеризации-депарафинизации был введен в эксплуатацию компанией Chevron. Эта технология получила название Isodewaxing. В связи с этим одним из перспективных направлений производства масел и увеличение глубины переработки нефтяного сырья является комбинирование гидрокрекинга остаточного нефтяного сырья и технологии изодепарафинизации.

Процессы вторичной переработки остаточного высокосернистого сырья можно условно разделить на два направления: облагораживание (гидроочистка) без значительной деструкции углеводородных компонентов либо глубокое разложение (гидрокрекинг) сырья с одновременным протеканием гидрогенолиза гетеросоединений.

В таблице 1 представлены существующие в настоящее время процессы гидропереработки и их целевые назначения, обуславливающие выбор той или иной технологии для нефтеперерабатывающих заводов [5].

Таблица 1. Процессы гидропереработки остаточного сырья

Компания	Процесс	Описание
Axens (IFP)	Huvahl	Гидроочистка в реакторе со стационарным слоем катализатора
	H-Oil	Гидрокрекинг/гидроочистка в кипящем слое катализатора
	T-Star	Гидроочистка в кипящем слое катализатора
Chevron Lummus Shell	ISOCRACKING	Гидрокрекинг
	RDS	Гидроочистка атмосферных остатков
	VRDS	Гидроочистка вакуумных остатков
	OCR	Технология поточной замены катализатора
	LC-Fining	Гидрокрекинг в кипящем слое катализатора
	UFR, Upflow reactor	Подача сырья снизу вверх в движущемся слое катализатора
	Hucon, Bunker type reactor	Технология бункер-реактора в движущемся слое катализатора
ExxonMobil	LCO-fining	Гидроочистка
	GO-fining	Гидроочистка сырья для каталитического крекинга
	RESIDfining	Гидроочистка остатков
KBR	MAK Hydrotreating	Гидроочистка вакуумных газойлей и дистиллятов
	MAK Hydrocracking	Гидроочистка сырья для каталитического крекинга
UOP	Unionfining	Гидроочистка остатков, вакуумных газойлей и дистиллятов
	Unicracking	Гидрокрекинг вакуумных газойлей и дистиллятов
Eni Technologies	EST	Гидрокрекинг в суспендированном слое катализатора

В промышленности в настоящее время два процесса гидрокрекинга остаточного сырья признаны наиболее перспективными. Это процессы H-Oil и LC-Fining [1]. Показатели работы данных установок приведены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2. Показатели процесса H-Oil

Показатель	Гудрон
<i>Производительность по сырью, тыс. т/год</i>	815
Расход водорода, % (мас.)	0,604
Расход катализатора, т/сут	0,89
<i>Свойства сырья:</i>	
плотность, кг/м ³	1023,5
содержание серы, % мас.	3,41
содержание ванадия, г/т	273
содержание никеля, г/т	44
<i>Выход продуктов:</i>	
Бензин С ₄ - 204	8,5
Керосин, фр. 204-260 °С	6,3
Дизельное топливо, фр. 260-343 °С	11,1
Вакуумный газойль, фр. 343-565	24,4
Остаток	49,7

Таблица 3. Показатели процесса LC-Fining

Показатель	Гудрон
<i>Сырье:</i>	
плотность, кг/м ³	1033
содержание серы, % мас.	4,2
содержание ванадия, г/т	330
содержание никеля, г/т	50
<i>Выход продуктов:</i>	
газ до С ₄	1,7
фр. С ₄ - 204	12,7
фр. 204-343 °С	16,8
фр. 343-524 °С	32,1
Остаток	36,7

Из анализа данных технологий гидрокрекинга следует, что в процессе LC-Fining можно получать из нефтяных остатков больший выход бензиновых, дизельных фракций, гидрооблагороженные газойль и остаток с умеренным количеством серы, чем в процессе H-Oil. Для компании АО «РНПК» данная технология предпочтительнее, так как в настоящее время завод работает по топливному варианту переработки нефти.

Но для производства базовых масел необходима дальнейшая переработка вакуумного газойля, полученного при гидрокрекинге.

Наиболее перспективным гидропроцессом для получения базовых масел, является процесс изодепарафинизации. Цель данного процесса улучшение низкотемпературных характеристик нефтяного сырья и позволяющие получать качественные масла II и III групп с высокими значениями выхода. Основой процесса изодепарафинизации являются реакции гидроизомеризации *n*-парафинов. Получаемые в этих реакциях изопарафины остаются в составе целевого продукта, что обеспечивает получение депарафинированного масла с более высоким выходом по сравнению с процессом каталитической депарафинизации [8].

Масла, получаемые в процессе изодепарафинизации (табл. 4), отличаются низкой температурой застывания, хорошей стабильностью против окисления, улучшенными показателями по испаряемости и цвету [7].

Таблица 4. Качественные показатели масел процесса изодепарафинизации (ОАО «Танеко»)

Показатели	Лёгкое базовое масло	Среднее базовое масло
Температура, °С		
застывания	-45	-18
вспышки	> 135	220
Вязкость, сСт		
при 100°С	2-2,5	4-4,5
при 50°С	6,5-9,0	-
Индекс вязкости	> 100	> 120
Содержание, % масс.		
серы	<0,03	< 0,03
ароматических у/в	<1,0	<1,0

Заключение

Стратегические цели ведущих российских нефтяных компаний по эффективному использованию углеводородного сырья характеризуются направленностью на увеличение глубины переработки нефти, повышение качественных показателей производимых нефтепродуктов. Данным целям соответствуют гидрокаталитические процессы. Анализ существующих промышленных установок по переработке и облагораживанию тяжелых нефтяных остатков и установок для получения базовых масел позволяет сделать вывод, что на данный момент наиболее рациональным технологическим решением по производству базовых масел на АО «РНПК» является интегрированная установка, объединяющая процессы гидрокрекинга нефтяных остатков LC-Fining и изодепарафинизации Isodewaxing.

Библиографический список

1. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. В 2 ч. Часть вторая. Деструктивные процессы. – М.: КолосС, 2007. – 334 с.
2. ИТС 30-2017. Переработка нефти. М.: Бюро НДТ, 2017. – 635 с.
3. Российский рынок моторных масел: счастье не в объеме, а в его качестве [Электронный ресурс] // Нефть и Капитал: аналитический журнал - 12.12.2016. - Режим доступа: <https://oilcapital.ru>. – (Дата обращения 4.10.2017)
4. Thomas R. L. Process Chemistry of Lubricant Base Stocks / R. L. Thomas // CRC Press. – 2008. – 370 p.
5. Нигметов Р.И., Нурахмедова А.Ф., Попадин Н.В. Современные направления каталитической гидропереработки высокосернистых остатков атмосферной и вакуумной перегонки // Вестник АГТУ, 2016. - №2.
6. Герасимов Д.Н. Изодепарафинизация нефтяного сырья на платиновых цеолитсодержащих катализаторах: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук (05.17.07) / Денис Николаевич Герасимов // ООО «РН-ЦИР». – Москва, 2014. – 134 с.
7. Капустин, В.М. К вопросу о производстве гидрокрекинговых масел в ОАО "ТАНЕКО" / В.М. Капустин, А.Н. Харламов, Е.Н. Забелинская // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2010. – №7.
8. Герасимов Д.Н. Изодепарафинизация нефтяного сырья на платиновых цеолитсодержащих катализаторах: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук (05.17.07) / Денис Николаевич Герасимов // ООО «РН-ЦИР». – Москва, 2014. – 134 с.

УДК 66-5; ГРНТИ 61.51.17

МОДЕРНИЗАЦИЯ СХЕМЫ НАГРЕВА ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ НА УСТАНОВКЕ ГИДРООЧИСТКИ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ АО «РНПК»

С. Михалев

Рязанский государственный радиотехнический университет

Рязань, mikhaley_serger@mail.ru

Аннотация. В данной работе описан способ модернизации технологической схемы нагрева вакуумного газойля на установке гидроочистки вакуумного газойля АО «РНПК». Пользуясь имеющимися данными по планировке и размещении аппаратов, а также данными режима работы аппаратов находящихся в схеме нагрева вакуумного газойля.

Ключевые слова. РНПК, теплообменник, вакуумный газойль, схема нагрева.

MODERNIZATION OF THE SCHEME OF HEATING VACUUM GASOLINE AT THE INSTALLATION OF HYDRAULIC CLEANING OF A VACUUM GASOLE JSC "RNPK"

S. Mikhalev

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, mikhaley_sergei@mail.ru

Annotation. In this paper, we describe a method for modernizing the technological scheme for heating a vacuum gas oil in a hydrotreater of a vacuum gas oil of JSC "RNPK". Using the available data on the layout and location of the apparatus, as well as data on the operating mode of the apparatus in the vacuum gas oil heating circuit.

Keywords. RNPK, heat exchanger, vacuum gas oil, heating circuit.

Введение

Все процессы в нефтепереработке, и в других аналогичных областях промышленности, не обходятся без обмена тепла между средами, имеющими разные температуры. Обмен происходит в аппаратах называемыми теплообменниками. Они имеют самое различное строение, но принцип действия и назначение одно: передать тепло от одного теплоносителя другому теплоносителю.

Широкое использование теплообменного аппарата в нефтяной и газовой промышленности обязывает специалистов уметь производить их расчет, анализировать опыт их эксплуатации, анализировать рабочий процесс и выявлять пути повышения эффективности работы аппаратов. Эффективная работа теплообменных аппаратов приводит к экономии энергии, сокращению расходов продуктов и улучшает технико-экономические показатели производственных процессов.

В ходе технологического процесса установки гидроочистки вакуумного газойля (ГВГ), имеет место модернизация схемы теплообменников путем установки еще одного теплообменного аппарата, с целью снижения затрат производства и разгрузки технологической печей.

Теплообменные аппараты на установке ГВГ

Теплообменник – самый распространенный, на данный момент, вид аппарата для обмена теплом между двумя средами, который применяется во всех отраслях промышленности.

По назначению теплообменные аппараты делятся на подогреватели, испарители, конденсаторы, холодильники и т. д. А по принципу работы они могут быть разделены на теплообменные аппараты рекуперативные и регенеративные, а также смесительные.

В рекуперативных аппаратах тепло от горячего к холодному передается через разделяющую их стенку.

В регенеративных одна и та же поверхность омывается поочередно горячим и холодным веществом.

В рекуперативных и регенеративных аппаратах процесс передачи тепла связан с поверхностью твердого тела. Поэтому такие аппараты называются также поверхностными.

В смесительных аппаратах тепло передается путем непосредственного соприкосновения и смешения сред.

Рекуперативные теплообменники работают в периодическом или в стационарном тепловом режиме. В стационарном режиме, аппарат работает непрерывно. Конструкция теплообменных аппаратов рекуперативного типа очень разнообразны. Они предназначены для работы с теплоносителями типов жидкость-жидкость, пар-жидкость, газ-жидкость.[1]

На установки гидроочистки вакуумного газойля используются кожухотрубные теплообменные аппараты, устройство аппарата представлено на рисунке 1.

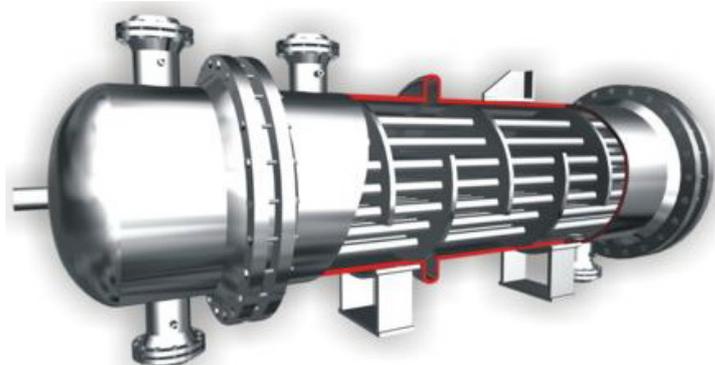


Рис. 1. Кожухотрубный теплообменник [2]

В данном теплообменнике одна среда движется по пучку трубок внутри металлического кожуха, а другая среда движется по кожуху аппарата.

Схема нагрева вакуумного газойля

Для протекания реакции гидроочистки в реакторе, вакуумный газойль необходимо нагреть до определенной температуры, достигается это путем нагрева его в технологических печах и в теплообменных аппаратах, где теплоносителем являются отходящие потоки вакуумного газойля, дизельного топлива и пара.

Для разгрузки имеющейся схемы (рис. 2), где вакуумный газойль сначала проходит трубное пространство теплообменника Т1, нагреваясь паром, проходит через ряд теплообменников нагреваясь нагретым очищенным вакуумным газойлем и дизельным топливом, поступает для донагрева в печь. После печи, нагретый продукт проходит стадию гидроочистки и возвращается в теплообменники для нагрева холодного вакуумного газойля. Пройдя через теплообменники продукт имеет все еще высокую температуру, поэтому поступает для доохлаждения в аппарат воздушного охлаждения (АВО).

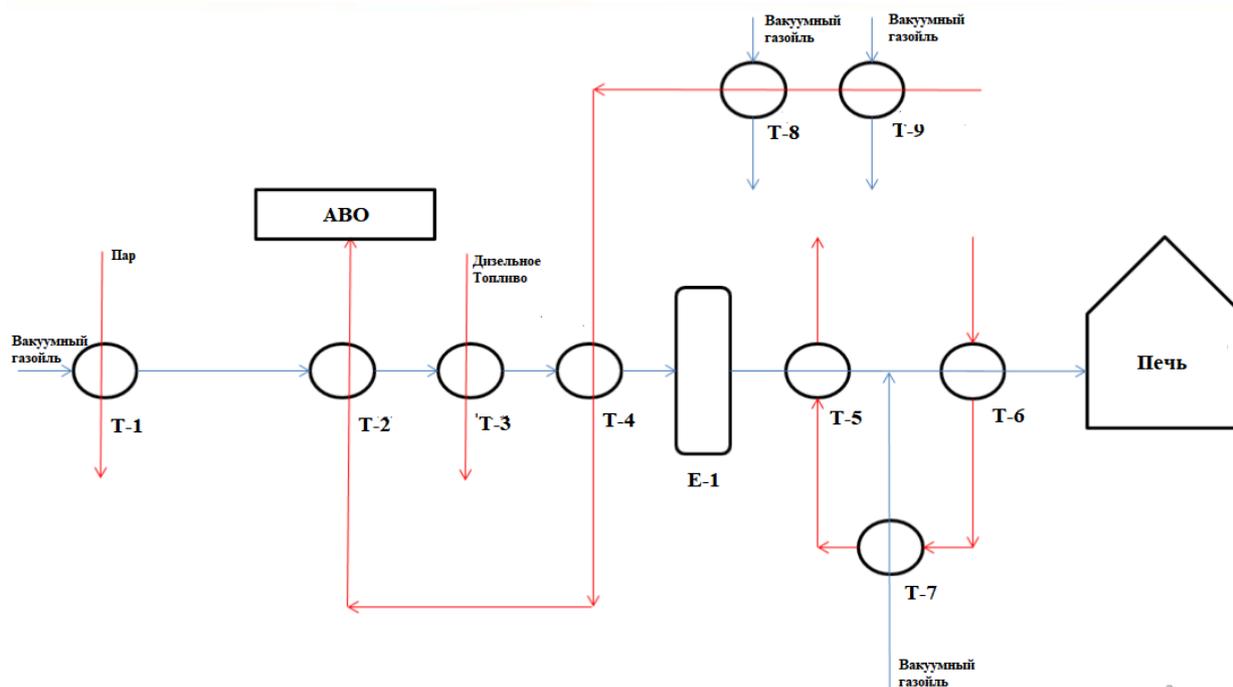


Рис. 2. Схема нагрева вакуумного газойля

Предлагается внедрение еще одного кожухотрубного теплообменника перед аппаратом воздушного охлаждения, так как продукт еще имеет запас температуры для нагрева. (рис. 3). Данная модернизация позволит снизить потери тепла, разгрузить технологические печи, так как вакуумный газойль будет поступать в них с более высокой температурой, сократить подачу пара в Т1, благодаря тому, что будет дополнительный нагрев в следующем теплообменнике и снизить потребление энергии аппаратами воздушного охлаждения, за счет прихода более холодного продукта.[3]

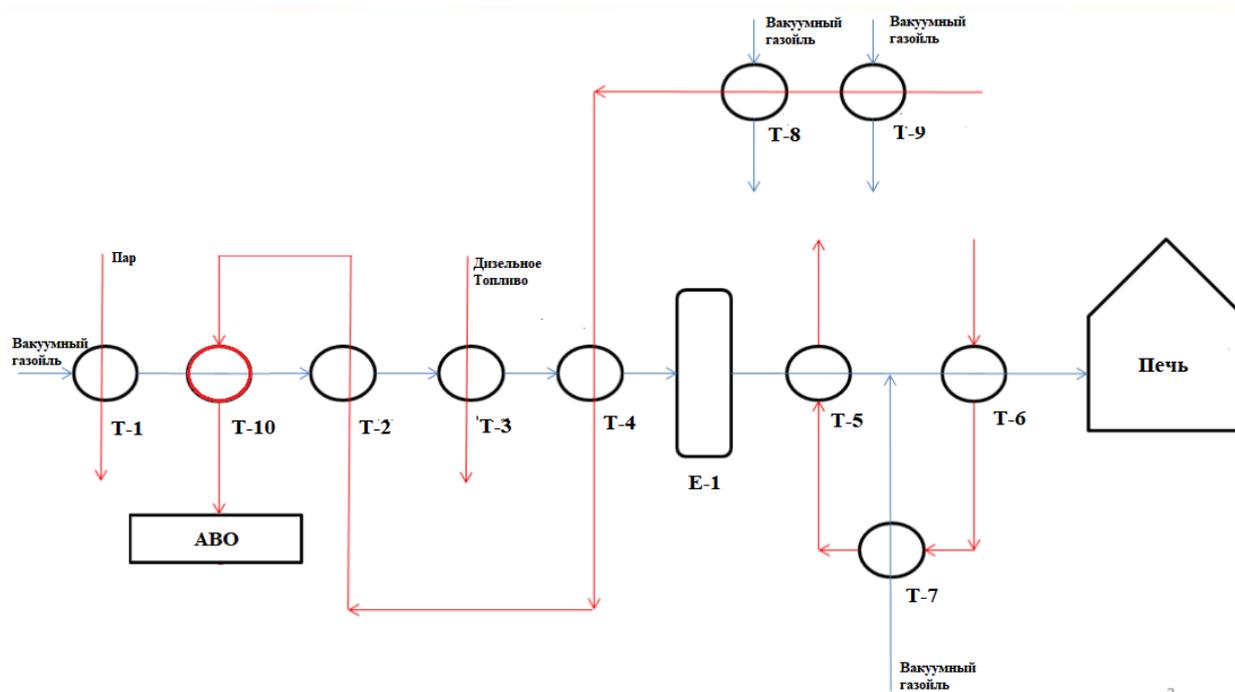


Рис. 3. Модернизированная схема нагрева вакуумного газойля

Выводы

Модернизации, включающие установку дополнительного оборудования, всегда несут большие затраты на закупку, доставку и установку. Но в долгосрочном периоде позволяют снизить нагрузку на другие аппараты в технологической цепи. Так же это позволяет снизить расход таких теплоносителей как топливный пар среднего и высокого давления, снизятся затраты электроэнергии для работы аппаратов охлаждения. Все это приведет к увеличению длительности работы аппаратов, а за счет снижения расхода пара и электроэнергии снизит расходы предприятие на данный процесс.

Библиографический список

1. Касаткин А. Г., Основные процессы и аппараты химической технологии, «Химия», М., 1971, 784 с.
2. Буклет. Теплообменное оборудование «Ридан» и решения для нефтегазовой отрасли. 2017, 20 с.
3. Технологический регламент установки гидроочистки вакуумного газойля АО «РНПК» 2017, 498 с.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК ГИДРОКРЕКИНГА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАСЕЛ В РОССИИ

П. Игумнов

Рязанский государственный радиотехнический университет

Рязань, igumnov.95@inbox.ru

Аннотация. Изучены различные технологии процесса гидрокрекинга. Произведен анализ технической литературы и проектной документации отечественных и зарубежных проектов и действующих установок гидрокрекинга, работающих с получением высокоиндексных масляных дистиллятов.

Ключевые слова. Гидрокрекинг, масла, катализатор, изодепарафинизация

PROSPECTS OF APPLICATION OF HYDROCRACKING INSTALLATIONS FOR MANUFACTURING OILS IN RUSSIA.

P. Igumnov

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, igumnov.95@inbox.ru

Abstract. Various technologies of the hydrocracking process have been studied. The analysis of technical literature and design documentation of domestic and foreign projects and operating hydrocracking units working with high-index oil distillates is carried out.

Keywords. Hydrocracking, oils, catalyst, isodewaxing

Введение

Согласно стратегии развития нефтепереработки России до 2020 года намечено широкое внедрение комплексов углубленной переработки нефти, а также их реконструкция и модернизация на действующих НПЗ. Большую роль среди указанных процессов будут играть современные варианты гидрокрекинга вакуумного газойля и нефтяных остатков, а также различные виды гидроочистки и гидрооблагораживания нефтяных дистиллятов.

Особым направлением развития гидрогенизационных процессов являются процессы получения масел, отвечающих современным экологическим и эксплуатационным характеристикам. Реализация задач в рамках этого направления связана, прежде всего, с внедрением процессов гидрокрекинга [1].

Стоит отметить, что основным назначением процесса гидрокрекинга является производство дизельных топлив и сжиженных газов, а также гидроочищенных бензиновых фракций. Кроме того, если остаток гидрокрекинга не возвращается в сырье гидрокрекинга, он может использоваться в качестве высококачественного сырья или компонента сырья каталитического крекинга, коксования, пиролиза[2]. Однако, остаток гидрокрекинга может также использоваться и для производства высокоиндексных базовых масел, отвечающих современным требованиям по классификации API (Американский институт нефти).

Вместе с тем, доля масел, получаемых переработкой доступного и дешевого нефтяного сырья с использованием традиционной сольвентной технологии, остается на сегодня преобладающей. Исследование и адаптация традиционных процессов производства масел применительно к новым источникам сырья представляет практический интерес для отечественных нефтеперерабатывающих заводов.

В связи с этим перспективным является вовлечение процесса гидрокрекинга для производства масел 2-ой и 3-ей группы по классификации API.

Объекты исследования

Основную массу производимых в России масел, составляют масла 1 группы по API. Которые, как правило производят традиционными методами. Гидроконверсией рафинатов, возможно получение 2 группы масел обладающих индексом вязкости около 106. Но в связи с

увеличением автомагистралей и появлением новых автомобилей все более востребованы масла 3 группы, которые возможно получать на установках гидрокрекинга.

Гидрокрекинг масляного сырья проводится достаточно в жестких условия температуре 360-420 °С и давление 10-20 мПа.

Катализаторы гидрокрекинга состоят из следующих основных компонентов: кислотного носителя, активных компонентов и связующего.

В качестве кислотного носителя используются аморфный или кристаллический алюмосиликат (цеолит) и оксид алюминия, которые обеспечивают крекинг и изомеризацию. Для большей кислотности иногда вводят галогены.

В качестве активных компонентов (гидрирующие металлы) катализаторы могут содержать никель, кобальт, хром и молибден в оксидной или сульфидной форме.

Связующую функцию выполняют кислотный компонент (оксид алюминия, алюмосиликаты, оксиды кремния, титана, циркония.)

Анализируя процесс гидрокрекинга по схемам компании Chevron и Shell разработанные в 2002 году и направленные на производство топлив, можно наблюдать, что в них присутствует рециркуляция сырья, производимая для большего выхода топливных фракций.

В связи с повышением экологических и эксплуатационных требований, появилась необходимость в производстве масел 3 группы, и в 2008 году были представлены схемы компаний Axens и UOP. В которых, предусмотрен второй реактор гидрокрекинга. Работа по этой схеме, позволяет в первом реакторе производить обессеривание и деазотирование, и частичную изомеризацию, а во втором реакторе происходит изомеризация и частичный гидрокрекинг полиароматических соединений. Условия в этих реакторах более мягкие чем при обычном гидрокрекинге, давление 17 мПа и температура 360⁰С. Данные технологические схемы могут работать, как на получение масел, так и на получение топлив, применяя рециркуляцию [3].

В настоящее время на ООО «РН-Комсомольский НПЗ» введен в эксплуатацию комплекс гидрокрекинга для получения дизельного топлива со сверхнизким содержанием серы и имеется достаточное количество свободного водородсодержащего газа, поэтому наиболее целесообразно применять его для получения базовых масел из непроконвертированного остатка гидрокрекинга, используя процессы гидрогенизационной переработки и, прежде всего, процесс гидроизодепарафинизации.

Изодепарафинизация («ISODEWAXING») по технологии компании Шеврон Луммус Глобал позволяет получать 3 вида масел: легкое, среднее и тяжелое масло (вязкостью 2,5; 4 и 6 мм²/с при 100⁰С соответственно) III группы по классификации API.

Среднее и тяжелое масла могут служить основой перспективных энергосберегающих моторных масел типа SL и SM 0W/30 и 5W/40 - для легковых автомобилей с бензиновым двигателем и CH-4 и CI-4, 10W30 и 15W40 - для грузовых автомобилей с дизельным двигателем, обеспечивающих требования Евро-4 по охране окружающей среды. Легкое масло могло бы использоваться в качестве основы высококачественного трансформаторного масла. Однако легкое масло имеет температуру застывания не ниже минус 30⁰С, тогда как для трансформаторного масла требуемая температура застывания не выше минус 45⁰С. Такая температура застывания достигается посредством каталитической депарафинизации легкого масла в мягких условиях. При этом могут быть получены также основы низкотемпературных авиационных масел типа МС-8п и ИПМ-10, и приборного масла типа МВП. Так как в процессе изодепарафинизации объем получения легкого масла превышает 50 % от общего количества масел, то для рационального его применения в технологическую схему производства смазочных масел целесообразно включение процесса каталитической депарафинизации.

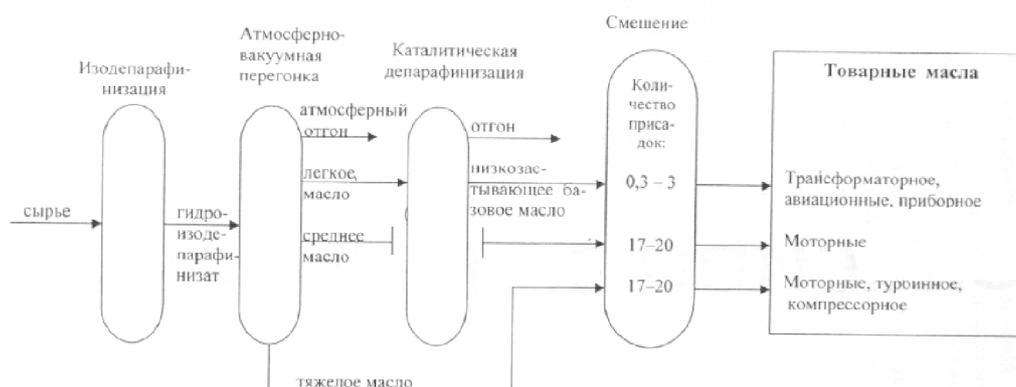


Рис.1. Принципиальная схема производства масел

На рисунке 1 представлена принципиальная схема производства масел. Сырье (непроконвертированный остаток) поступает на установку изодепарафинизации. Полученный гидроизодепарафинизат подвергается атмосферно-вакуумной перегонке с выделением низкокипящих фракций (атмосферный отгон) и легкого, среднего и тяжелого масел.

Легкое масло поступает на установку каталитической депарафинизации для получения низкозастывающего базового масла. Данное масло служит основой для производства трансформаторного, авиационных и приборного масел.

Средние и тяжелые масла служат основой для турбинных и компрессорных масел. Компаундирование базовых масел с присадками для получения товарной продукции осуществляется на установке смешения.

Проведенные маркетинговые исследования показывают, что весь возможный объем перечисленных выше моторных масел на основе среднего и тяжелого базовых масел может быть реализован. Однако объем потребления трансформаторного масла невысок, что вызывает опасения в возможности реализации всего производимого количества. В связи с этим целесообразно легкое масло, получаемое в процессе изодепарафинизации направлять на вторую ступень гидрокрекинга

В процессе каталитической депарафинизации необходимая температура застывания масла достигается посредством селективного крекинга нормальных и слаборазветвленных парафиновых углеводородов на активных центрах специальных цеолитсодержащих катализаторов под давлением водорода с превращением их в газообразные и низкокипящие углеводороды [4].

Выводы

Применение остатка топливного гидрокрекинга является перспективным процессом для получения масел в России, так как ужесточаются экологические и эксплуатационные требования к маслам.

При получении базовых масел 3 группы прекращается или ограничивается рециркуляция в сырьё.

На установке гидрокрекинга на «РН-Комсомольский НПЗ» целесообразно использовать остаток гидрокрекинга для получения базовых масел по технологии компании Шеврон Луммас Глобал, что позволяет получать 3 вида масел кинематической вязкостью: 2,5; 4; 6 мм²/с.

Библиографический список

1. Капустин, В.М. Основные проблемы в развитии промышленных гидрокаталитических процессов нефтепереработки России / В.М. Капустин // Труды научно- технологического симпозиума «Нефтепереработка: катализаторы и гидропроцессы». Сборник тезисов докладов (20-23 мая 2014 г., Пушкин, Санкт- Петербург). Новосибирск.- 2014. С. 23.
2. В.М. Капустин, А. А. Гуреев, Технология переработки нефти Часть 2. Деструктивные процессы / . - М.: КолоСС, Химия, 2007.- 334 с.
3. Научно-технический журнал Нефтегазовые технологии. Издательство топливо и энергетика.Москва - 2002,2008. Выпуск 3,7. С.31-34.
4. «Юникрекинг для производства базовых масел». Техническая конференция ЮОПи по нефтепереработке, 14-15 мая, 1997, Москва.

УДК 519.876.5; ГРНТИ 61.01.77

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ДИЭТИЛОВОГО ЭФИРА ИЗ ЭТАНОЛА И ВОДЫ В ПРОГРАММЕ СОСО

В.В. Коваленко, Н.Ю.Кулавина, Г.А.Шашкина, Д.В. Мельников, И.И. Синева

Рязанский государственный радиотехнический университет

Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрена возможность использования в учебном процессе пакета программ моделирования химико-технологических процессов СОСО на примере задачи моделирования процесса получения диэтилового эфира из этанола и воды.

Ключевые слова. Пакет программ СОСО, ChemSep, моделирование химико-технологического процесса, реактор, миксер, равновесная колонна.

MODELING OF THE PROCESS OF PRODUCING DIETHYL ETHER FROM ETHANOL AND WATER IN THE PROGRAM OF СОСО

V.V. Kovalenko, N.Y. Kulavina, G. A. Shashkina, D.V. Melnikov, I.I. Sineva

Ryazan State Radio Engineering University

Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru

Abstract. The paper considers the possibility of using in the educational process a package of modeling programs for chemical technological processes СОСО, for example, the task of modeling the process of obtaining diethyl ether from ethanol and water..

Keywords. СОСО, ChemSep, modeling of the chemical process, reactor, mixer, equilibrium column

Компьютерное моделирование целесообразно использовать при анализе и оптимизации химико-технологических процессов. При построении моделей комплексно используются математические модели реакционных, термодинамических, массообменных, гидромеханических процессов и графические средства с учетом ограничений на параметры оборудования.

Программы компьютерного моделирования позволяют значительно сократить временные и материальные затраты на разработку, анализ и проектирование новых и оптимизацию действующих производств нефтяной и газовой промышленности.

Количество существующих на сегодняшний день программ компьютерного моделирования не слишком велико. Наиболее функциональные Hysys и Hysim (канадской компании Hysprotech Ltd), Aspen Plus и Speed UP (американской компании Aspen Technologies Inc), Pro II и ProVision (американской фирмы Simulation Sciences, Inc), PROSIM, PROMAX (американской компании Bryan Research & Engineering, Inc). Позволяют решать основные задачи моделирования CHEMCAD (американской фирмы ChemStations, Inc), gPROMS ProcessBuilder (английской компании PSE (Process Systems Enterprise)), DESIGN II (американской компании WinSim Inc). Менее универсальные ChemFort (НИИОГАЗ), GIBBS

(фирмы ТОПЭНЕРГОБИЗНЕС) и т.д.

Использование подавляющей части эти программных продуктов в учебном процессе практически невозможно из-за высокой стоимости и отсутствия свободных лицензий.

Достаточными функциональными возможностями для использования в дисциплинах, связанных с моделированием химико-технологических процессов располагает пакет программ СОСО. Программа бесплатная в облегченной версии и доступна для скачивания с официального сайта <http://www.cocosimulator.org>.

Последняя версия пакета позволяет моделировать технологические схемы, состоящие из элементов: смеситель и делитель потока, компрессор, турбина, равновесный реактор, реактор конверсии, сепаратор, подогреватель/холодильник, теплообменник, насос, клапан (дрессель), ректификационная колонна (кроме ректификации позволяет рассчитывать экстрактивную ректификацию, экстракцию жидкость-жидкость) и ряд вспомогательных элементов. Ректификационная колонна позволяет рассчитывать разгонку смесей не более чем из 5 компонентов при максимальном числе теоретических ступеней 50. База данных программы содержит около 150 компонентов (HYSYS - 2000). Поддерживается большинство основных термодинамических систем расчёта свойств (SRK и его модификации, PR, NRTL, Wilson, UNIQUAC, UNIFAC, ASOG, Ideal models и др.).

Данные ограничения не препятствуют освоению в учебном процессе различных методов моделирования и оптимизации химико-технологических систем. К недостатком можно отнести дефицит русскоязычной литературы по работе с пакетом.

Пакет программ СОСО состоит из 4-х основных частей.

COFE – технологический пакет, симуляционная среда для моделирования потоков вещества, энергии и информации.

TEA – комплекс программ для расчёта термодинамических свойств чистых веществ и их смесей (позволяет рассчитывать 25 термодинамических параметров для 400 чистых веществ и их смесей).

COUSCOUS – совокупность программ для проведения расчётов отдельных элементов технологических схем, таких как теплообменники, компрессоры, детандеры, вентили, смесители, разделители и т. п..

CORN - пакет программ для расчётов химических реакций и химического равновесия.

ChemSep - сторонний компонент, поставляемый с СОСО, используется для выполнения многокомпонентных расчетов процесса разделения при моделировании дистилляционных колонн.

Пакет также укомплектован утилитами и надстройками: приложения для настройки пакетов, автономный пакет свойств воды Water, редактор иконок JUIсE, и т.д.

В работе рассмотрена задача моделирования процесса получения диэтилового эфира из этанола и воды.

Известны входные данные компонентов: давление, температура, состав смеси, расход.

Графическое представление процесса строится в модуле COFE.

Общие свойства компонентов задаются в окне параметров процесса модуля TEA: имя, термодинамическая модель (UNIFAC VLE), список компонентов, участвующих в процессе (рис. 1, а). Свойства реакции задаются в окне реакции модуля CORN (рис. 1, б).

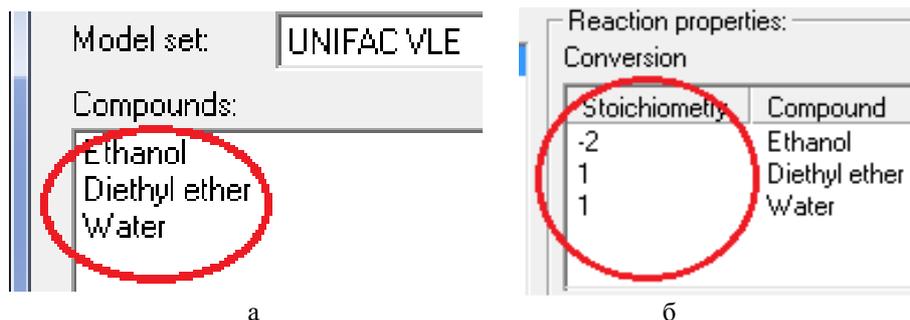


Рис. 1. Фрагменты окон параметров: а – модуля TEA, б – модуля CORN

Графическое изображение сырьевого потока размещается на рабочем поле. Для него задаются входные данные в окне параметров: давление 1 атм, температура 40 °С, расход 20 моль/сек, мольные фракции 0,85 для этанола и 0,15 для воды.

Также на рабочее поле устанавливается графическое изображение равновесного реактора и к нему присоединяются заданный входной и новый выходной поток. Для реактора задаются перепад давления 0, температура 40 °С, превращение этанола 0,5.

После запуска решения формируется таблица параметров потоков (рис. 2), которая позволяет сделать вывод, что поток продукта по-прежнему содержит большое количество этанола и воды; необходимо увеличить выход диэтилового эфира.

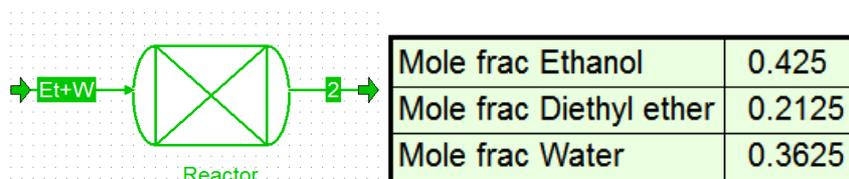


Рис. 2. Распределение продуктового потока реактора по компонентам

Для дальнейшего разделения используется ректификационная колонна. Для расчета колонны в программе COFE подключается модуль ChemSep.

В окне параметров программы ChemSep задаются вид колонны – равновесная, с простой дистилляцией, конденсатор полный, ребойлер частичный, 10 тарелок, питание подается на 7-ю тарелку.

В спецификации колонны задаются параметры: постоянное давление 1 атм, тепловые потери равны 0, для верха колонны (Top) коэффициент рефлюкса 2, для низа (Bottom) расход нижнего продукта 0,5 кмоль/сек.

По результатам решения (рис. 3) можно сделать заключение, что почти весь диэтиловый эфир находится в потоке 3.

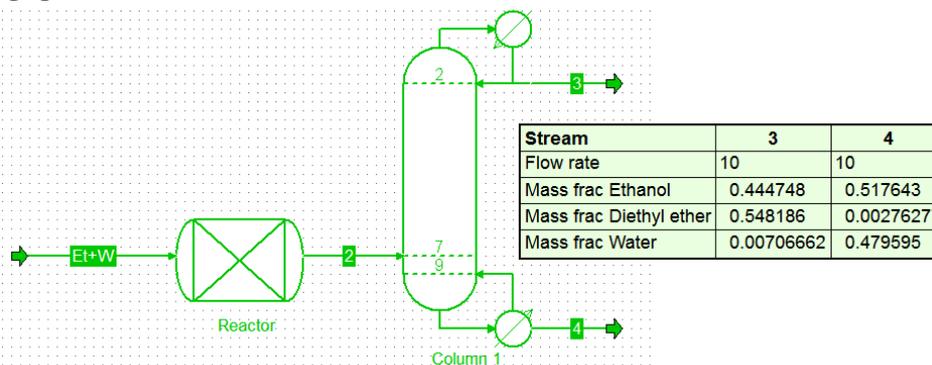


Рис. 3. Схема и результат работы реактора с колонной

Чтобы разделить воду и этанол, оставшийся в 4-м потоке, можно добавить еще одну колонну с 15 тарелками и подачей питания на 4 тарелку. Если задать флегмовое число 3 для верхней спецификации, мольную долю воды 99% для нижней, выход воды составит 97%, а этанола 2,5%, т.е. практически весь этанол переработан (предупреждение в данном случае может не учитываться). В дистилляте больше чем 87% этанола (рис. 4).

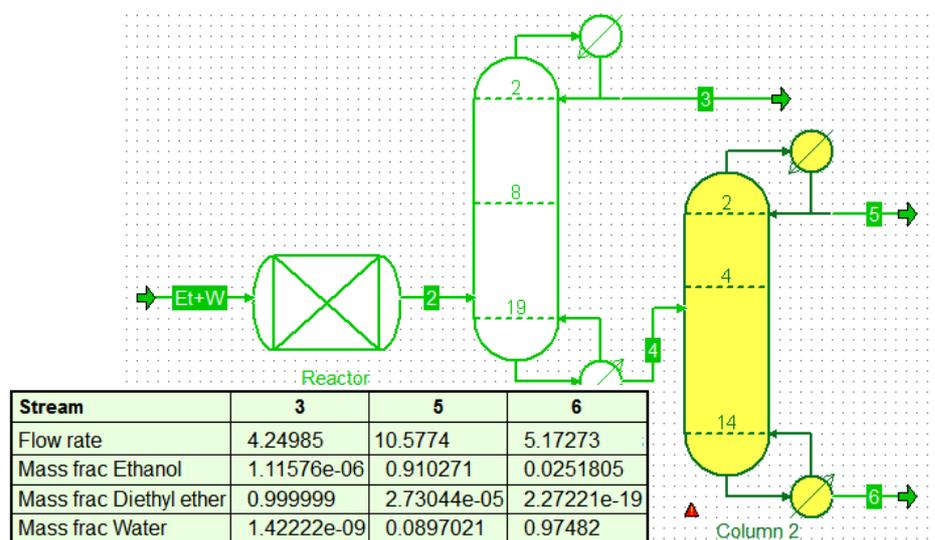


Рис. 4. Схема и результат работы реактора с двумя колоннами

Верхний поток 5 второй колонны содержит около 91 % этанола. Можно направить поток 5 в реактор, организовав рецикл. Для соединения потоков перед реактором устанавливается смеситель. Рецикл увеличивает поток через реактор и колонну 1. В связи с этим необходимо увеличить число тарелок до 20 с подачей питания на тарелку 8 (рис. 5).

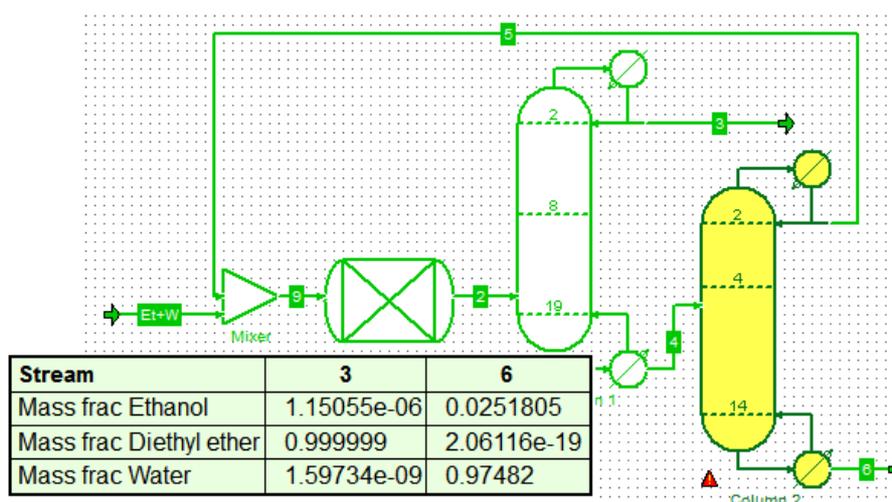


Рис. 5. Схема и результаты работы с использованием рецикла

Моделирование сходится в 6 итерациях. Вода составит 97,4 % потока 6 второй колонны. Поток продукта 3 является чистым диэтиловым эфиром на 99,9 %. Таким образом, задача моделирования процесса получения диэтилового эфира выполнена.

Графики и отчеты, формируемые программой, позволяют анализировать и оптимизировать процессы, происходящие в модели (рис. 6).

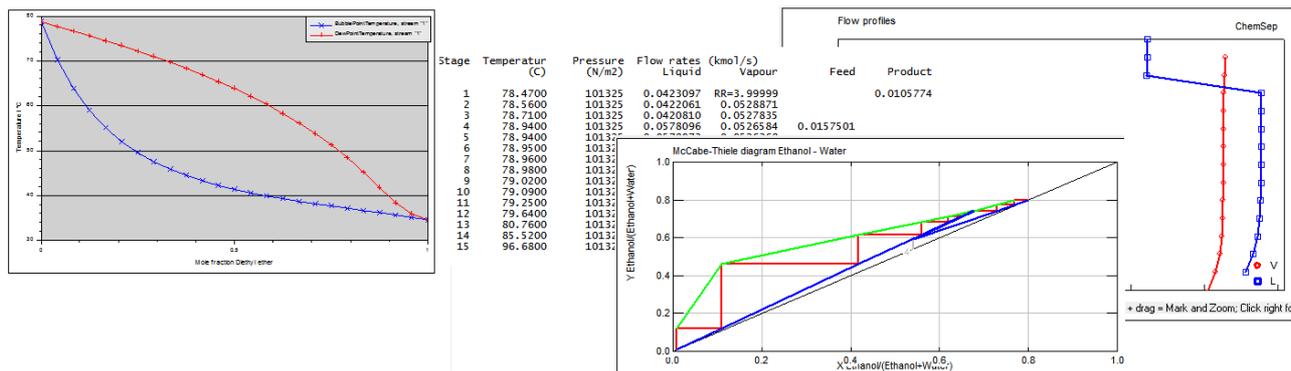


Рис. 6. Отчеты и графики

Пакет программ СОСО обеспечивает получение представления о моделировании процессов химико-технологического процесса даже в условиях, когда моделирование не привязано к конкретному производству, для которого известны спецификации оборудования и потоков.

Изучение приемов моделирования с использованием пакета программ СОСО дает полное представление о методах создания моделей отдельных аппаратов и о моделировании химико-технологических процессов в целом.

Библиографический список

1. Электронный ресурс: <http://www.cocosimulator.org>.
2. Электронный ресурс: <http://www.chemsep.org/>
3. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Информационные технологии в отрасли» для студентов очной и заочной форм обучения специальности: 1-48 01 03 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»/ сост. и общ. ред. А.А. Ермака – Новополюк: ПГУ, 2015. – 84 с.

УДК 665.73

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКЦИОННОГО И ГРУППОВОГО СОСТАВА БЕНЗИНОВ МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРНОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

М.Э. Керимова*, Т.В. Редичева**, В.В. Коваленко***, М.В. Лызлова****

* Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mshakazakova1995@mail.ru

** Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, pivikova.tatyana@mail.ru

*** Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, vikvaskov@mail.ru

**** Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, lyzlova.m.v@rsreu.ru

Аннотация. Статья посвящена применению метода капиллярной газовой хроматографии при исследовании образцов бензинов АИ-92-К5, АИ-95-К5, алкилата, катализата риформинга.

Ключевые слова. Высокоэффективная газовая хроматография, групповой состав, фракционный состав.

INVESTIGATION OF FRACTIONAL AND GROUP COMPOSITION OF PETROLS BY METHOD OF CAPILLARY GAS CHROMATOGRAPHY

M.E. Kerimova *, T.V. Redicheva**, V.V. Kovalenko ***, M.V. Lyzlova* ***

* Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, mashakazakova1995@mail.ru

** Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, , pivikova.tanya@mail.ru

** Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, vikvaskov@mail.ru

*** Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, lyzlova.m.v@rsreu.ru

Abstract. The article is devoted to the application of the method of capillary gas chromatography in the study of gasoline samples AI-92-K5, AI-95-K5, alkylate, reforming catalyst.

Keywords. Highly effective gas chromatography, group composition, fractional composition.

В настоящее время в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности методы хроматографического определения состава и свойств сложных смесей, какими являются топлива (бензины, нефтя и др.) нашли широкое применение. С помощью методов высокоэффективной капиллярной газовой хроматографии можно решать различные задачи: определение какого-либо одного компонента в пробе, группы веществ или полного группового покомпонентного состава образца, фракционного состава сложных углеводородных смесей.

Целью работы является изучение структурных особенностей соединений, входящих в состав бензинов различных марок газохроматографическим методом. Как правило, высокооктановые бензины представляют собой смесь бензиновых фракций различных технологических процессов переработки нефти: бензиновые фракции прямой перегонки, каталитического крекинга, риформинга, алкилирования, изомеризации с добавками индивидуальных высокооктановых компонентов и присадок, улучшающих их эксплуатационные свойства. Полученные смеси имеют сложный углеводородный состав, характеризующийся содержанием парафиновых, изопарафиновых, нафтеновых, олефиновых, ароматических углеводородов, оксигенатов. Состав перерабатываемой нефти и применяемые процессы ее переработки, наличие в технологической схеме производства различных процессов, будут влиять на компонентный состав товарных топлив. Фиксирование состава топлив, характеризующих данного производителя, возможно с помощью современных хроматографических методов, которые позволяют быстро получать достоверные данные о качественном и количественном составе сложных смесей, проводить анализы с минимальной пробоподготовкой и затратами времени на исследование [1,2,3].

Как известно, в основе хроматографического метода лежит физико-химический метод разделения веществ, основанный на распределении разделяемых компонентов между двумя несмешивающимися фазами, одна из которых является неподвижной, а другая – подвижной. Подвижная фаза (газ) продувается вдоль слоя неподвижной фазы. При этом компоненты разделяемой смеси, испаряющиеся без разложения, перемещаются по хроматографической колонке с потоком газа-носителя. Неодинаковое сродство веществ к летучей подвижной фазе и стационарной фазе в колонке приводит к тому, что компоненты смеси селективно задерживаются последней и вещества выходят из колонки с различным временным интервалом и регистрируются детектором. [2].

В настоящей работе исследование фракционного и группового состава проводилось для бензинов марок АИ 92, АИ 95, алкилата и катализата риформинга с использованием аппаратно-программного комплекса для медицинских исследований на базе хроматографа "Хроматэк - Кристалл 5000". Сущность метода заключается в хроматографическом разделении бензина на капиллярной колонке с неполярной неподвижной фазой с последующей регистрацией углеводородов пламенно-ионизационным детектором и автоматизированной обработкой полученной информации с помощью программного обеспечения. Образец бен-

зина объемом 0,3 мл вводят в газовый хроматограф, оснащенный капиллярной колонкой, содержащей в качестве твердой фазы метилсилоксан, нанесенный на стенки кварцевой капиллярной колонки (длина – 100 м, диаметр – 0,25 мм). Под действием газа-носителя – гелия с расходом 1 мл/мин образец проходит через колонку (эффективность порядка 250000 теоретических тарелок по н-октану), в которой его компоненты разделяются. Компоненты регистрируются пламенно-ионизационным детектором при их элюировании из колонки. Сигнал детектора обрабатывается системой электронного накопления данных или интегрирующим компьютером [3, 4].

Полученные для образцов бензина хроматограммы идентифицировали путем сравнения его индекса удерживания с помощью специального компьютерного программного обеспечения и на основании полученных данных были построены следующие графические зависимости распределения компонентов, показывающие содержание различных классов углеводородов в бензинах (рис. 1-6).

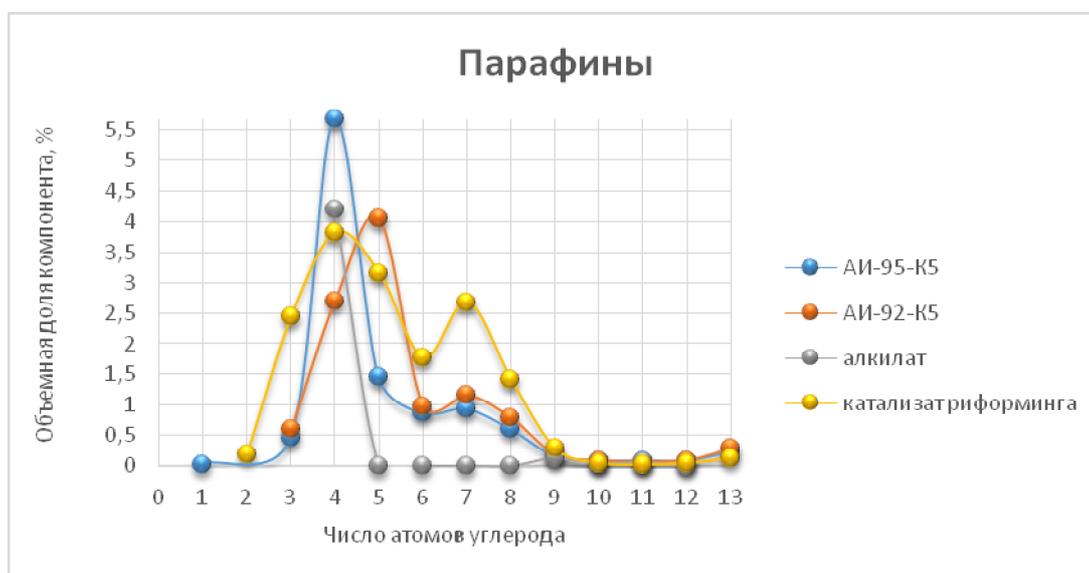


Рис. 1. Содержание предельных углеводородов нормального строения

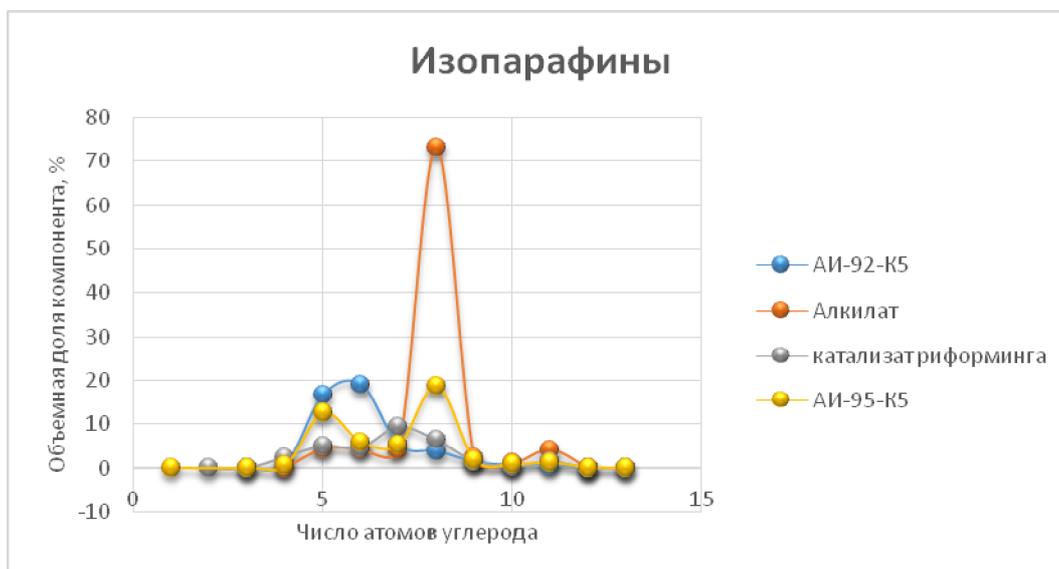


Рис. 2. Содержание изопарафинов

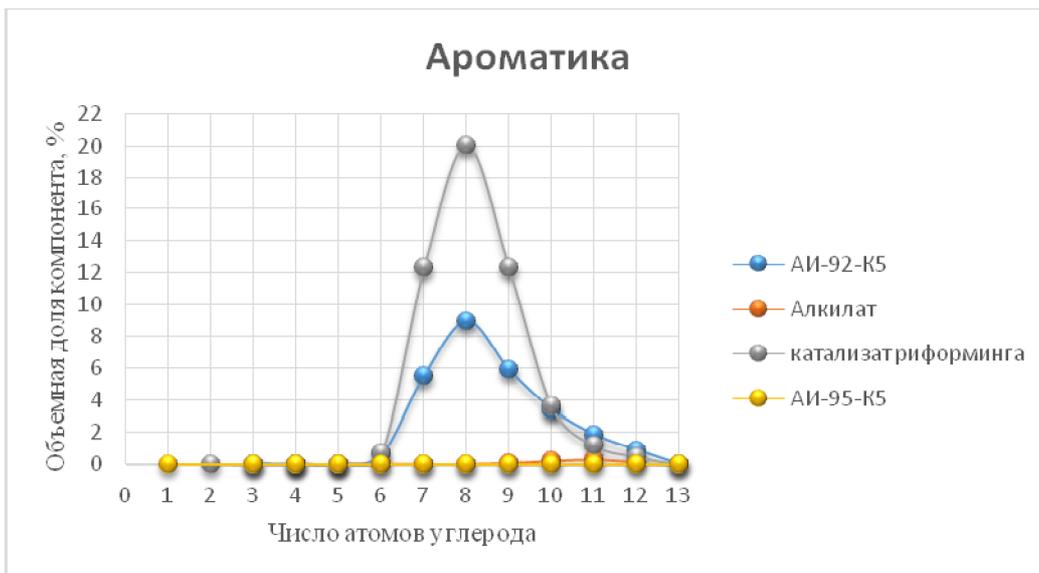


Рис. 3. Содержание ароматических углеводородов



Рис. 4. Содержание нафтеновых углеводородов



Рис. 5. Содержание непредельных углеводородов

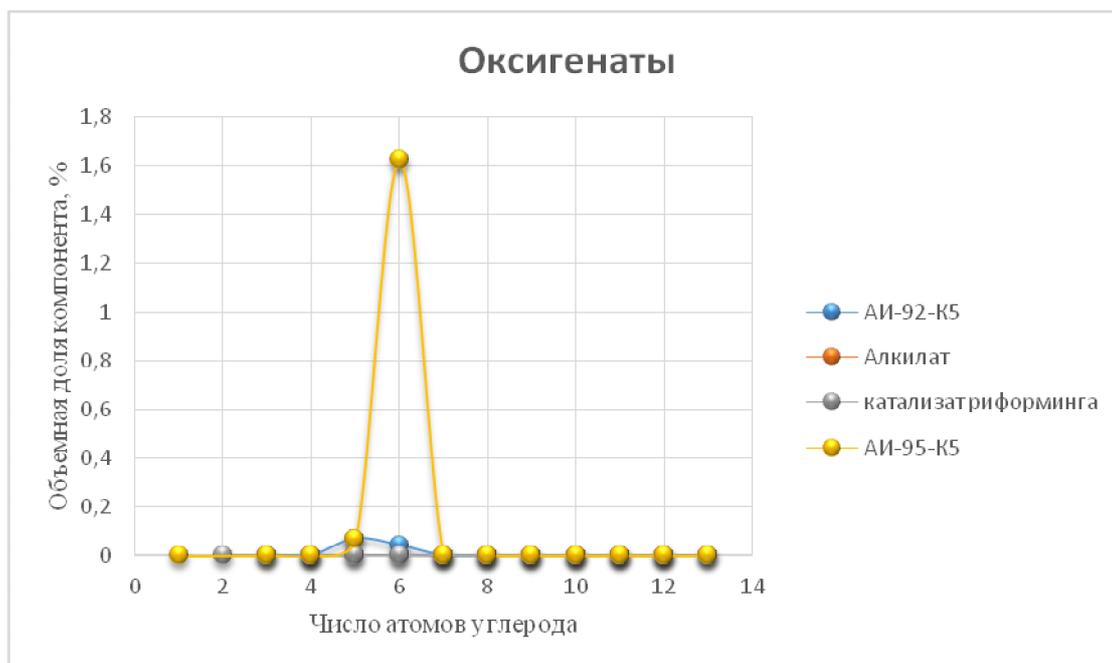


Рис. 6. Содержание оксигенатов

Состав образцов АИ 95, АИ 92, алкилата и риформата представлен на хроматограммах соответственно 289, 263, 173 и 99 пиками, определяющими, по крайней мере, 289, 263, 173, и 99 компонентов. Анализ хроматограмм исследуемых топливных образцов позволил определить основные органические соединения, характерные для каждого класса углеводородов.

1) Парафиновые соединения равномерно распределены в бензине АИ 95 от метана, в катализате риформинга от этана, в бензине АИ 92 от пропана до тридекана, в алкилате отсутствуют гексан, гептан и октан.

2) Изопарафиновые соединения наиболее часто встречаются в виде 2,2,4-; 2,2,3-; 2,3,4-; 2,3,3- триметилпентан, при этом в алкилате они составляют 74 %, в бензине АИ 95 -16 %, и изопентана (10%), в бензине АИ 92 - изопентан (14 %) и 2,2-диметилбутан (12%) и 2-, 3-метилпентан (4%), в катализате риформинга- изобутан и изопентан (6%), остальные изомеры в виде метил-пентанов, метил-гексанов и метил-гептанов (17 %).

3) Ароматические соединения в бензине АИ 95 и АИ 92 содержатся в виде бензола (АИ 95 - 0,679 %, АИ 92 - 0,743 %), толуола (АИ 95 -10,643 % АИ 92 -6,628 %), о,м,п-ксилолов (АИ 95, АИ 92 - 8%), триметилбензолов (АИ 95 - 3% АИ 92 - 3,5%), в алкилате диэтил-бензол, этил-пропил-, метил-бутил-бензолы присутствуют в незначительном количестве (0,6 %), в катализате риформинга - бензол (0,820 %), толуол (13,940 %), о,м,п-ксилолы (20 %), этилбензол (4%), триметилбензолы и метил-этил-бензол (10,5 %).

4) Циклические соединения (нафтены) в бензине АИ 95 и АИ 92 в основном находятся как метил-, этил, диметил-, диэтил- замещенные циклопентана и циклогексана, индана и алкил замещенные индана, в алкилате - изобутилциклопентан (0,2%), в катализате риформинга - метилциклопентан (0,186 %), диметилциклопентан (0,104 %) и диметилциклогексан (0,385 %).

5) Непредельные соединения (олефины) в бензине АИ 95 и АИ 92 присутствуют в виде бутенов, пентенов и гексенов (бутен-1, пентен-1,2, гексен-1,2,3, метил- и диметилпентены и гексены в цис- и транс- конформациях), в алкилате отсутствуют, в катализате риформинга равномерно распределены от метилбутена до диметилпентена и по отдельности составляют сотые доли процента.

6) Оксигенаты представлены двумя соединениями: в бензине АИ 95 МТБЭ –(0,067 %), ТАМЭ (1,719 %), в бензине АИ 92 - МТБЭ (0,07 %), ТАМЭ (0,046 %).

Таким образом, метод капиллярной газовой хроматографии позволяет идентифицировать индивидуальные углеводороды сложных смесей, которыми являются бензиновые фракции, получаемые в современных наиболее передовых технологических процессах (каталитического крекинга, каталитического риформинга, алкилирования), и соответствующие стандартам ЕВРО-4 и ЕВРО-5. Об этом свидетельствуют данные по содержанию ароматических углеводородов менее 35 % масс. (АИ 95-33,079%, АИ 92-32,936 %), содержание бензола менее 1% (АИ 95 -0,679 %, АИ 92 -0,743 %, катализат риформинга - 0,820 %), непредельных соединений (отличающихся высокой реакционной способностью, легко полимеризующихся и осмоляющихся, что приводит к снижению срока службы двигателей) не более 35 % (АИ 95-8,219%, АИ 92-8,349 %). Следует отметить, что обработка полученных хроматограмм без применения соответствующего программного обеспечения будет очень сложной, длительной и трудоемкой. Так, например, из общего количества идентифицированных индивидуальных соединений для бензина АИ-92, 24 % составляют непредельные углеводороды, а по массе их всего лишь 8,349 %.

В заключении хочется отметить, что для оптимизации технологического процесса производства товарных бензинов на основе бензиновых фракций прямогонных, каталитического крекинга, гидроочистки, риформинга, изомеризации и алкилирования, необходимо иметь данные структурно-группового состава бензинов этих процессов. Это позволит, с одной стороны, прогнозировать свойства получаемых топлив в процессе разработки рецептуры смешения бензинов, вносить необходимые изменения в технологию их приготовления, не дожидаясь результатов лабораторного анализа, а, с другой стороны, полученные данные по групповому составу позволят проследить за изменением структур органических соединений как в процессе первичной переработки, так и в деструктивных процессах, с целью получения индивидуальных органических соединений для нефтехимического и основного органического синтеза.

Библиографический список

1. Вигдергауз М.С. Газовая хроматография как метод исследования нефти.-М.: Наука, 1973.-256с.
2. Кэц Э. Количественный анализ хроматографическими методами.-М.: Мир, 1990.-320с.
3. Егазьянц С.В. Хроматографическое определение на катионированных силикагелях группового и компонентного состава углеводородов нефтяных фракций и продуктов их переработки 02.00.13 – Нефтехимия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. – Москва, 2009.
4. ГОСТ 33902-2016. Нафта. Определение индивидуального и группового состава методом капиллярной газовой хроматографии.

УДК 547-3;54.084; ГРНТИ 61.51.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТОЧНЫХ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ СЕРЫ В БЕНЗИНАХ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

А.А. Гришина*, З.М. Байдавлетова**

*РН-Смазочные материалы,

Россия, Рязань, aagrishina@lubs.rosneft.ru

**Рязанская нефтеперерабатывающая компания,

Россия, Рязань, zmbaidavletova@rnpk.rosneft.ru

Аннотация. Рассматривается использование поточных рентгенофлуоресцентных анализаторов на примере определения серы в бензинах

Ключевые слова. Бензины, рентгенофлуоресцентный анализ, поточный анализатор, сера

USE OF STREAMING X-RAY-FLUORESCENT ANALYZATORS AT SULFURIZATION ANALYSIS IN CATALYTIC CRET-KING PETROL

A.A. Grishina*, Z.M. Baidavletova**

*RN Lubricants,

Russia, Ryazan, aagrishina@lubs.rosneft.ru

**Ryazan Oil Refining Company,

Ryazan, Russia, zmbaidavletova@rnpk.rosneft.ru

Annotation. The use of flow X-ray fluorescence analyzers on the basis of determination of gray gasolines

Keywords. Gasolines, X-ray fluorescence analysis, in-line analyzer, sulfur

Введение

С развитием техники повышаются требования к качеству товарного бензина, ужесточаются нормативы по содержанию серы. Поэтому его качество подлежит обязательному контролю. Бензины, имеющие повышенное содержание серы, могут вызвать коррозию емкостей, трубопроводов и топливной аппаратуры автомобильных двигателей.

При сгорании сернистых соединений выделяются SO_2 и SO_3 , образующие в присутствии воды коррозионно-агрессивные сернистую и серную кислоты. С увеличением содержания в бензине сернистых соединений коррозионный износ деталей двигателя увеличивается. Повышение доли SO_3 в продуктах сгорания способствует резкому повышению износа двигателя.

Применение на двигателях бензинов с повышенным содержанием серы приводит к снижению мощностных и экономических показателей автомобиля. [1]

Основным компонентом товарного бензина является бензин каталитического крекинга. Однако БКК имеет существенный недостаток – высокое содержание соединений серы, что не позволяет его без предварительной очистки использовать в качестве компонента современных автомобильных бензинов, отвечающих современным экологическим классам К4 и К5 согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 013/2011,

ограничивающему содержанию серы в товарном бензине не более 50 и 10 мг/кг соответственно, а также требованиям СТБ 1656-2011, EN 228:2008 и пр. [2]

Целью работы является постоянный аналитический контроль содержания общей серы в бензинах каталитического крекинга за счет применения поточного рентгенофлуоресцентного анализатора серы.

Лабораторные исследования содержания серы в бензине каталитического крекинга

Экономическая необходимость вовлечения БКК в заводской пул товарных бензинов привела к разработке компромиссных способов переработки БКК применительно к конкретной ситуации. В их основе лежит разделение широкой фракции БКК на легкую и тяжелую с последующим гидрооблагораживанием тяжелой фракции. Легкая фракция бензина используется как компонент автомобильного бензина без очистки [3]. На рисунке 1 показан график изменения содержания серы в фракции легкого бензина каталитического крекинга за 2017 год.



Рис. 1. График изменения содержания серы за 2017 год

Как видно из графика, содержание серы в бензине нестабильно.

В связи с вышеизложенным, вытекает необходимость осуществления постоянного аналитического контроля БКК на содержание серы и ее соединений.

В лабораторных условиях массовая доля серы (мг/кг) определяется по ГОСТ ISO 20846 с определенной периодичностью, согласно графику аналитического контроля.

Запаздывание и дискретность поступления результатов лабораторного анализа

качества продукта (пробы отбираются один раз в сутки) позволяет использовать полученную таким образом информацию лишь для ориентировки обслуживающего персонала. Ее оперативное применение, в особенности для автоматической стабилизации показателей качества, исключается. [4]

В связи со сказанным выше особую важность приобретает оперативность получения результатов испытаний БКК.

Поэтому в данной работе предлагается использование поточного рентгено-флуоресцентного анализатора серы, который может анализировать поток онлайн и мгновенно выдавать результат испытаний на экран старшего оператора.

Принцип работы поточного рентгено-флуоресцентного анализатора серы

Анализаторы состоят из измерительной ячейки, источника рентгеновского излучения, блока детектора, блока регистрации и управления сигналом. В качестве источника излучения используется компактная рентгеновская трубка. В качестве блока детектора используется пропорциональный счетчик квантов. Конструктивно анализатор выполнен в одном блоке, включающем: блок отбора пробы из потока, ее подачи в анализатор и подготовки к измерениям, вакуумную систему с насосом для откачки воздуха из вакуумной камеры, блок детектора, смонтированных в одном корпусе. Анализаторы выпускаются в двух модификациях: CLORA для анализа хлора и SINDIE для анализа серы. Анализаторы имеют маркировку взрывозащиты 2ExрzdIIBTЗХ.

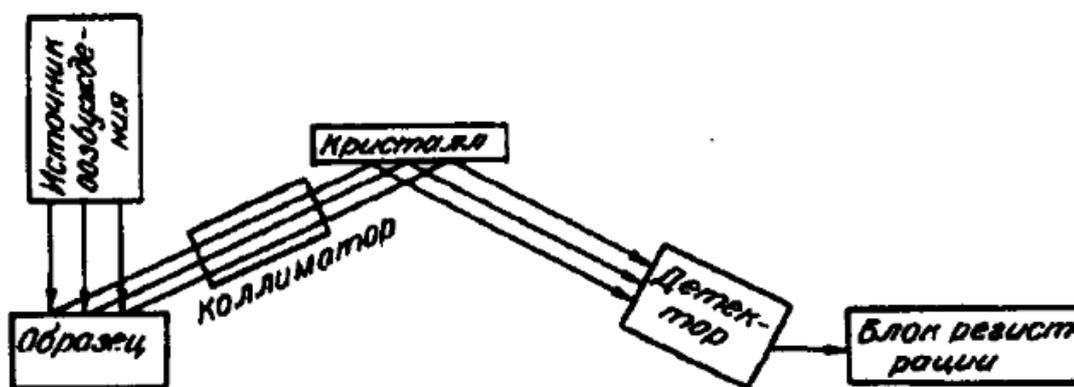


Рис. 2. Принципиальная схема рентгеноспектральной установки

Анализируемый образец подвергается бомбардировке частицами (электронами, протонами, альфа-частицами, ионами различных элементов и т.д.) либо облучается рентгеновским излучением первичного источника (рис. 2). В случае, если энергия частиц или фотон первичного излучения достаточна для возбуждения характеристического спектра атомов образца, происходит их возбуждение. Возбужденные атомы испускают фотоны в рентгеновской области длин волн. Образец в общем случае состоит из ряда элементов. Каждый элемент испускает спектр из нескольких характеристических линий. Помимо этого часть излучения первичного источника рассеивается образцом. При возбуждении спектра частицами особенно интенсивно при использовании для этой цели электроном. Таким образом, излучение от образца имеет сравнительно сложный спектральный состав. Часть этого неоднородного вторичного излучения образца отбирается монохроматором, состоящим из коллиматора, кристалла-анализатора и детектора. Излучение отдельных длин волн,

падающее на поверхность кристалла-анализатора, отражается под определенными углами Θ в зависимости от межплоскостного расстояния кристалла d и длины волны этого излучения λ в соответствии с законом Брэгга-Вульфа:

$$n\lambda = 2d\sin\Theta, \quad (1)$$

где n - порядок отражения (угол отражения всегда равен углу падения).

Отраженное под углом монохроматическое излучение попадает в детектор, который преобразует фотоны в импульсы напряжения. Импульсы от детектора после дополнительного усиления направляются через дискриминатор в пересчетный прибор. Интенсивность регистрируемого излучения выражается либо в импульсах, либо характеризуется величиной заряда электрметра. Она обычно служит показателем содержания определяемого элемента в образце [5].

Поключение поточного анализатора – довольно простая процедура. На трубу с потоком устанавливается патрубок, к которому прикрепляется прибор (рис. 3). Поток, проходя через трубу пересекает рентгеновский источник и сигнал от возбуждения атомов в потоке подается на детектор, который при определенной калибровке, выводит на экран оператора содержание серы (рис. 4).

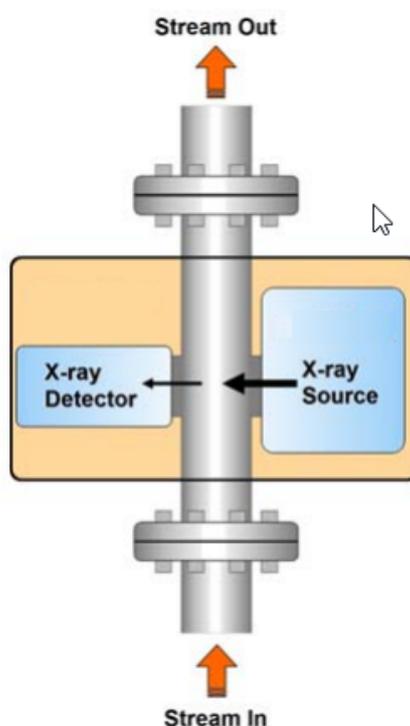


Рис. 3. Принципиальная схема подключения поточного анализатора



Рис.4. Пример вывода на экран оператора результатов, полученных с помощью поточного анализатора на потоке нефти

Из примера видно, что программное обеспечение анализатора имеет достаточно простой интерфейс, который выдает отчет, показывающий:

- статус работы анализатора – в данном случае «идут измерения»;
- содержание серы со средним квадратичным отклонением (СКО);
- плотность потока со средним квадратичным отклонением (СКО);
- интенсивность излучения со средним квадратичным отклонением (СКО);
- количество измерений проведенные/заданные;
- процент удовлетворительных повторов;
- экспозиция - время измерения прошедшее/заданное;
- наименование продукта;
- содержание воды;
- содержание хлора;

А также «Предупреждение» – в случае ошибок или высокого содержания серы и «Авария» - в случае поломки анализатора.

Таким образом, можно сказать, что анализатор выдает достаточно лаконичный, но информативный отчет и имеет интуитивно понятный интерфейс.

Выводы

Рентенофлуоресцентный анализ достиг широкого применения в лабораторной практике.

Метод позволяет с высокой точностью определить содержания элементов в нефти и нефтепродуктах такие как сера и ее соединения.

Использование поточных анализаторов способствует быстрому и точному определению содержания серы в бензинах – это позволяет операторам быстро реагировать на изме-

нения в показателях качества и корректировать технологический режим в режиме он-лайн. И что немаловажно, исключает необходимость отбора проб на повторные испытания в случае брака, так как можно сразу измерить содержание серы после корректировки технологического режима.

Библиографический список

1. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение. Справочник под редакцией проф. Б.В.Лосикова - М.: Химия, 1966. — 776 с.
2. Канд. техн. наук, доц. А.А. ЕРМАК; О.Г. БУГАЕВИЧ (Полоцкий государственный университет). Изменение углеводородного состава бензина каталитического крекинга MSCC в результате его гидрооблагораживания по технологии PRIME G+/ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. ПРИКЛАДНЫЕ НАУКИ. Химическая технология № 11. 2015 Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В.
3. Веселухин И.В. Гидрооблагораживание бензинов каталитического крекинга - Современные научные исследования и разработки, Уфа, 2015.
4. Серебрянский А.Я. Управление установками каталитического крекинга. – М.: Химия, 1983. – 192 с., ил.
5. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. - Новосибирск: ВО «Наука», 1994. – 264 С.

УДК 004.932; ГРНИ 89.57.35

ИССЛЕДОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

А.А. Жорниченко, А.А. Ширяев

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Российская Федерация, Рязань, sasha.zhornichenko@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе описаны современные направления развития производства и использования ароматических углеводородов, основные реакции и процессы для производства аренов.

Ключевые слова. Арены, бензол, толуол, сольвент, экстракция.

INVESTIGATION OF AROMATIC SYSTEMS IN OIL REFINING

Zhornichenko A.A., Shiryayev A.A.

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, sasha.zhornichenko@yandex.ru*

Annotation. In this paper, we describe the main trends in the development of production and use of aromatic hydrocarbons in the modern world, the main reactions and processes for the production of arenes.

Keywords. Arene, benzene, toluene, solvent, extraction

Введение

Ароматические соединения, или арены, – большая группа соединений С₆-С₉ карбоциклического ряда, молекулы которой состоят из устойчивого кольца из шести атомов углерода (бензольное кольцо), обладающую уникальными физико-химическими свойствами.

К ароматическим соединениям можно отнести, прежде всего, бензол С₆Н₆, а также его многочисленные гомологи и производные. Арены могут содержать в молекуле как одно, так и несколько бензольных ядер (многоядерные ароматические соединения).

Основные направления развития производства и использования ароматических углеводородов в современном мире

Современное химическое производство ароматических углеводородов главным образом базируется на процессах переработки нефтяных фракции и в значительно меньшей мере на процессах коксования каменных углей.

В конце XX века главным поставщиком Ароматических углеводородов была коксохимическая промышленность. Однако массовый выход продукта был невысок – порядка 0,8-1,5% от используемого сырья в зависимости от его происхождения и условий производства [1].

В нефтеперерабатывающем производстве – бензол, толуол, сольвенты, триметилбензолы и другие ароматические углеводороды – выделяются из продуктов в результате таких процессов как пиролиз газообразных и жидких углеводородов и ароматический каталитический риформинг бензиновых фракций. В результате реакций, кроме ароматики образуются другие химические продукты:

- в процессе риформинга – рефлюкс и сухой газ, бензин, водород для процессов гидроочистки,
- при пиролизе – такие арены как бутулен, пропилен и этилен.

Повышение спроса в химической промышленности ароматики вызвало необходимость в разработке и применении специальных процессов: например, экстракции ароматических углеводородов из их смесей с нафтеновыми и парафиновыми углеводородами, разделения этилбензола и ксилолов путем адсорбцией, азеотропной и экстрактивной ректификации, экстракцией [2].

На рисунке 1 показаны сферы применения ароматических углеводородов в современной промышленности.

Большое использование в химической промышленности находит бензол. Для повышения выхода были придуманы и применены такие методы производства бензола как диспропорционирование толуола и деалкилирование ароматических углеводородов. В настоящий момент в США 20% толуола используется для синтеза различных химических соединений, 20%- для производства бензола, а остальное используется как добавка для получения высокооктанового бензина.

Нефтяной сольвент – это смесь из 4 изомеров C_8 , который используется как для получения толуола и бензола (75%), так и для производства растворителей и компонентов бензинов. Особо используются орто- и параксилолы, другие изомеры превращаются в орто- и параксилолы в результате процесса каталитической изомеризации.

Основная часть ароматических углеводородов C_9 идут на производство автобензина, а остальное для получения смол. Углеводороды C_{10} используются в процессе производства пластификаторов, смол и лаков [3].

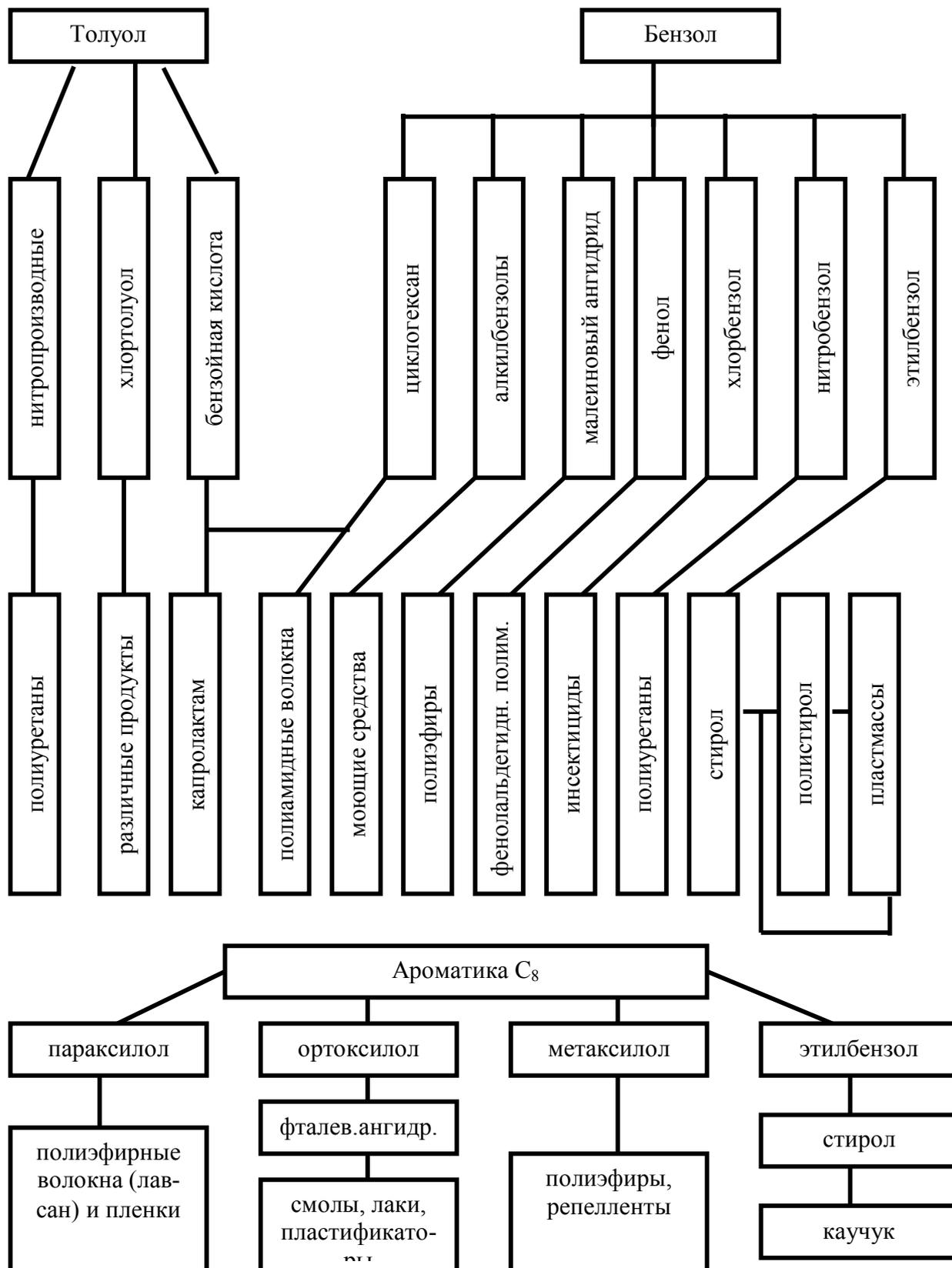


Рис.1. Основные направления использования ароматических углеводородов

Основные процессы для производства ароматических углеводородов

Сырьем для каталитического риформинга ароматических углеводородов являются всевозможные прямогонные бензиновые фракции перегонки нефти с различными диапазонами кипения:

Температурные интервалы бензола - 62-85 °С (60-85 °С)

Температурные интервалы толуола - 85-105 °С (85-110 °С)

Температурные интервалы сольвента - 105-140 °С (120-140 °С)

При ароматическом риформинге из фракции с широкими температурными интервалами 62-140 °С получают смесь различных аренов.

Целевыми в процессе каталитического риформинга являются реакции образования ароматических углеводородов за счет:

- дегидрирования шестичленных цикланов (рис. 2);

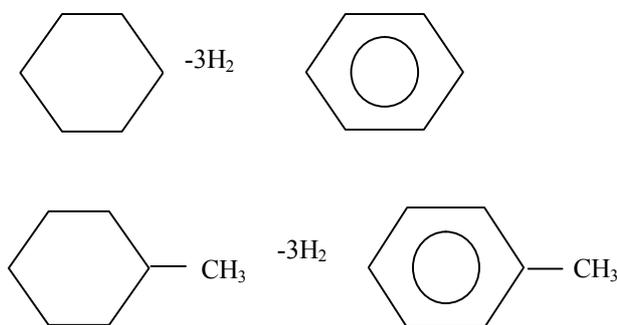


Рис.2. Дегидрирования шестичленных цикланов

- дегидроизомеризации циклопентанов (рис. 3);

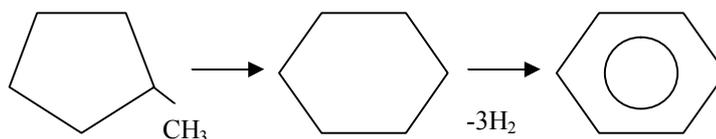


Рис.3. Дегидроизомеризация циклопентанов

- дегидроциклизации (C_5 или C_6 дегидроциклизации) парафиновых углеводородов.

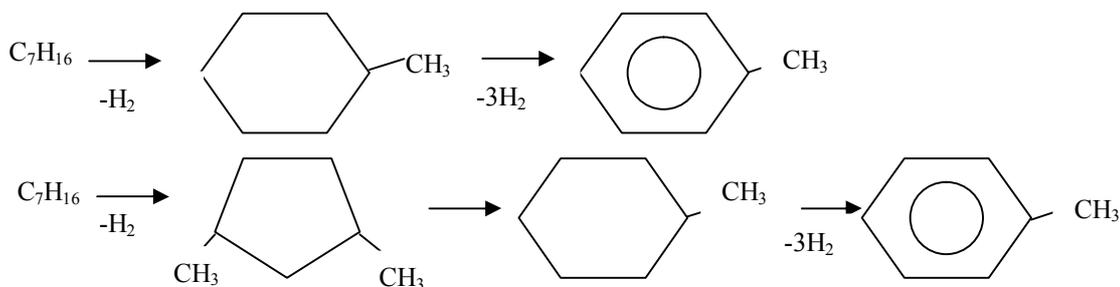


Рис.4. Дегидроциклизации (C_5 или C_6 дегидроциклизации) парафиновых углеводородов

Жидкие продукты ароматического риформинга содержат в себе смесь парафинов с нафтенами и ароматики. Исходя из этого, в процессе экстракции аренов применяют ди- и три- этиленгликоли, сульфолон или N – метилпирролидон. Это позволяет получить ароматические углеводороды с чистотой выше 95% от их содержания в сырье процесса риформинга, что является показателем высокой эффективности данных веществ.

Для увеличения выхода C_6 целесообразнее всего подвергать процессу риформинга прямогонную бензиновую фракцию с интервалами кипения 62-140 °С, а получающийся толуол деметилировать. Для увеличения выхода сольвента, установки риформинга совмещают с процессом трансалкилирования толуола и ксилолов C_9 .

Последующее повышение выхода ароматики реально достигнуть с помощью дегидроциклизации нормальных парафиновых углеводородов $C_6 - C_8$, извлеченных из бензинов первичной перегонки или бензина-рафината ароматического риформинга. Быстрый рост химических производств вызвал необходимость развития промышленных производств орто- и параксилолов. Так, для повышения их выработки придуманы такие процессы как изомеризация этилбензола и метаксилола, содержащегося в водороде. Ортоксилон в последствии выделяют с использованием ректификации, а для извлечения параксилолов применяют адсорбцию и низкотемпературную кристаллизацию[4].

Выводы

В настоящее время, исследование ароматических систем ведется все более углубленно, и это влечет за собой использование ароматических углеводородов в новых областях нефтехимической промышленности. Особые свойства аренов и их производных, позволяют получать на их основе всевозможные химически ценные и важные производные: искусственные синтетические материалы с повышенной механической прочностью, термической стабильностью и высокими диэлектрическими свойствами, большой выбор физиологически активных веществ, всевозможных стабилизаторов и красителей. Среди наиболее перспективных направлений выделяют увеличивающееся производство углерода и графита, стоит также отметить производство графитового волокна из различных смесей полициклических углеводородов.

Библиографический список

1. Моррисон Р. Органическая химия: пер. с англ./ Р. Моррисон, Р. Бойд. – М.: Мир, 1974. – 1132 с.
2. Шабаров Ю.С. Органическая химия: учебник для вузов/ Ю.С. Шабаров. – М.: Химия, 2002. – 848 с.
3. Березин Б.Д. Курс современной органической химии: учеб. пособие для вузов/ Б.Д. Березин, Д.Б. Березин. – М.: Высшая школа, 2001. – 768 с.
4. Петров А.А. Органическая химия/ Петров А.А., Бальян Х.В., Траценко А.Г. – М.: Высшая школа, 1981.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКООКТАНОВЫХ ТОПЛИВ ИЗ ВЫСОКООКТАНОВЫХ ТОПЛИВ

А.Р. Самылкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская федерация г.Рязань*

Аннотация. В данной работе описаны причины получения низкооктановых топлив и способы их получения

Ключевые слова. Октановое число, высокооктановое топливо, низкооктановое топливо, детонация

OBTAINING LOW-OCTANE FUELS FROM HIGH-OCTANE FUELS

A.R. Samylkin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan*

Annotation. In this paper, the reasons for obtaining low-octane fuels and methods for their preparation are described.

Keywords. Octane number, high-octane fuel, low-octane fuel, detonation

Редко люди интересуются тем, как получить из 92 бензина 80. Чаще всего интересна обратная ситуация, когда бензин с низким октановым числом нужно преобразовать в топливо с более высоким октаном. Сегодня рассмотрим, как снизить октановое число бензина. Получаемое топливо можно использовать в бензопилы и даже двухтактные двигатели мопедов, которые очень неуспешно используют топливо с высоким октановым числом. Но чтобы получить в процессе бензин с октановым числом 82, необходимо прежде узнать, что представляет собой бензин с тем или иным октановым числом. Что такое бензин?

Бензин – это смесь гептана и изооктана. Изооктан практически всегда принимается за значение в 100, он не взрывоопасен при повышении давления. Гептан в большинстве случаев принимаем за 0, так как он не устойчив к детонации при увеличении давления. Так например, бензин АИ 92 содержит в своем составе 8% гептана и 92% изооктана.

После первичной разгонки нефти первый полученный бензин имеет октановое число равное 70. Чтобы повысить качество бензина, используют различные присадки (антидетонатор), повышающие октановое число. Наиболее распространенный антидетонатор в мире – метил-трет-бутиловый (МТБЭ). Ранее хорошо использовались свинцовые антидетонаторы, но так как они загрязняли окружающую среду, они были не очень выгодны. Так же получают бензин с октановым числом равным 100 единицам. В нем применяется только изооктан, а остальное это присадки. Такой бензин используется в двигателях автомобилях.

Различие между высокооктановым и низкооктановым топливом состоит в том, что октановое число показывает с какой скоростью сгорает топливо. Бензин с октановым числом 100 сгорает равномерно и много времени затрачивается, в результате чего не создаются лишние ударные нагрузки на поршни. Поэтому производители современных автомобильных двигателей используют двигатели которые рассчитаны на использование бензина с октановым числом 92 и 95.

В современном мире нашёл применение себе и бензин с октановым числом равным 98. Низкооктановый бензин в автомобильном двигателе, который не предназначен для него из-за низкого или высокого октанового числа, сгорает раньше времени, из-за этого часть его энергии расходуется не полностью, в цилиндрах возникает большая детонация, что влечет за собой сильный износ клапанов и возникновение копоты и отложений на стенках цилиндров.

Как сделать из 92 бензина 80? К сожалению, не существует специализированной литературы, где бы описывались способы понижения октанового числа, так как превращать высокооктановое бензин в низкооктановый бензин неэкономично и не выгодно, глупо и неэффективно, ведь стоимость бензина 92 выше, чем стоимость бензина АИ 80.

Впрочем, подобная необходимость иногда возникает. Понизить октановое число могут:

- сернистые соединения и смолистые соединения;
- добавление в высокооктановый бензин присадок низкооктановых;
- долгое хранение бензина.

При неудовлетворительных условиях хранения (повышение температуры, повышение содержание отдельных углеводородов) он теряет свои свойства высокооктанового топлива. Вещества в его составе, повышающие октановое число, испарятся, и в результате топливо становится с низким качеством. В среднем за сутки, октановое число будет снижаться на 0,2.

В зависимости от способа понижения октанового числа, нам понадобится одноцилиндровый мотор, сернистые соединения веществ, аналитический контроль за октановым числом топлива, бензин с октановым числом 80.

В начале нужно определять детонационную стойкость бензина. Лучше всего для этого использовать обычный портативный прибор в топливных лабораториях. Самым популярным является, ОКТИС-2. Не существует такого способа, как получить из 92 бензина 80 бензин, не зная при этом текущего октанового числа после проведения изменений с топливом.

Первый и простой способ – добавить в бензин АИ 92 низкооктановое бензин – АИ 76. Зная, что АИ 76 практически нигде не продается и не производится, его заменить можно сернистыми соединениями и добавить их в бензин.

Второй способ, это добавления к АИ 92 бензина АИ 80, но хорошо и качественно снизить октановое число таким способом не выйдет. Перед тем, как разбавлять бензин, нам следует узнать текущие значения октанового числа и следить за октановым числом после каждого разбавления бензином с низким октановым числом.

Ещё один способ, это оставить наше топливо на прямых солнечных лучах т.е. на улице на солнце. Этот способ не требует особых усилий и знаний, он заключается в том, чтобы оставить бензин АИ 92 на улице и желательно с прямыми солнечными лучами. При таком хранении бензина с высоким октановым числом, за 1 сутки октановое число будет снижаться на 0.5 единиц. При таком хранении топлива 2 раза в сутки проверяется его октановое число. Возможно, что с течением времени бензин АИ 92 преобразуется в бензин с октановым числом 80.

Понижение октанового числа в промышленности не целесообразно и не выгодно, в промышленных масштабах никто не стремится снижать октановое число в топливе, ведь стоимость бензина с октановым числом 92 выше, чем стоимость бензина с октановым числом 80. Нет экономической выгоды делать из высокооктанового бензина низкооктановый, для этого на рынок поставляют множество различных присадок, которые только повышают октановое число, но никак не снижают его. Здесь приходится глубоко размышлять и импровизировать на практике.

Выше представлены более простые и распространенные способы, но есть и множество других способов. Многие из методов для определения октанового числа у топлива предусматривают использование одноцилиндрового двигателя для имитации напряженной езды. Такой метод несовершенен и часто возникает большая погрешность при определении октанового числа у топлива. Как вы думаете есть ли смысл снижать октановое число у топлива?

Теоретически смысл это имеет, поскольку многие двигатели, предназначены для работы на низкооктановом бензине (топливе), плохо работают и эксплуатируются с высокооктановым топливом. Здесь всё дело заключается в моменте вспышки топлива после его впрыска в поршень: в двигателях, которые разработаны для бензина АИ-92, у низкооктанового топлива вспышка будет происходить очень рано, это приводит к потере значительного количества энергии. Возникает детонация, которая приводит к очень быстрому износу пар трения двигателя. На стенках цилиндров могут откладываться продукты сгорания копоть и другие, просто они не успевают выводиться из камеры сгорания при открытом выпускном клапане. Напротив, в двигателях, предназначенных для низкооктанового топлива, бензин АИ 92, АИ 95, АИ 98 будет иметь вспышку с некоторым запозданием, что приводит так же к значительному потере энергии. Говорят, что на самом деле не рекомендуется заправлять низкооктановым топливом современные двигатели, а наоборот это можно и целесообразно. Причина, это низкооктановое число у бензина, который всё ещё продается на российских АЗС. Его качество оставляет желать лучшее, оно хуже по сравнению с европейскими топливами, поэтому многие водители используют топлива высокооктановые, чем те, которые требуются для данного типа двигателя. Поэтому можно подвергнуть использованию высокооктановые топлива для старых двигателей, бензопил, газонокосилок и можно даже добавить масло в бензин для бензопилы и газонокосилок.

Двухтактный двигатель рассчитан и создан для работы с низкооктановым бензином, можно смело использовать для этих целей высокооктановый бензин. Теперь мы знаем, как из бензина с октановым числом 92 получить бензин с октановым числом 80. Для снижения октанового числа не обойтись без особого прибора, который дорого стоит. Было бы нерационально покупать такой прибор, если данную операцию следовало бы проводить 1 или несколько раз. Однако в тех случаях, когда получать бензины с целью понижения детонационной стойкости приходилось бы очень часто, то такой прибор можно и приобрести и в этом был бы смысл. Выбор способа снижения октанового числа, самым распространённым в повседневной жизни является способ с хранением высокооктанового бензина на улице под действием солнечных лучей. В данном способе не нужна делать никаких действий, кроме измерения октанового числа у бензина. Примерное время получения из АИ 92 АИ 80, при идеальных условиях данного способа составит всего лишь 24 дня, так как в 1 день октановое число снижается на 0.5 единиц. Никто не производит присадки, которые способны снижать октановое число по естественной причине.

Вывод

Наиболее эффективным способом получения низкооктановых топлив является способ отстаивания топлива на свежем воздухе под действием солнечных лучей, проблема заключается в потребности мира высокооктановых топлив для новейших двигателей, но низкооктановое топливо так же востребованно в наше время.

Библиографический список

1. Бурнаева Л.М., Собанов А.А., Черкасов Р.А. Нефть и ее переработка: Методические указания к курсу "Химическая технология". - Казань: Казанский гос. ун-т, 2001. - 38 с..
2. Ильичев И.С. Лазарев М.А. Щепалов А.А. Основы физико-химического анализа продуктов нефтепереработки и нефтехимического синтеза: Электронный учебно-методический комплекс. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. - 163 с.

УДК 546.06; ГРНТИ 31.17.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ХРОМИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ

Е. Ю. Кобозева

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Россия, Рязань, lenkob@bk.ru*

Аннотация. В данной работе представлен обзор применения электролитического хромирования деталей оборудования нефтехимических производств с целью придания поверхности специальных функциональных свойств, обозначены требования к электролиту хромирования. Рассмотрены модифицированные варианты нанесения гальванического хрома, проведён сравнительный анализ их достоинств и недостатков.

Ключевые слова. Хромирование, износостойкость, гальванотехника, гальванопокрытие.

INVESTIGATION OF PROGRESSIVE METHODS OF ELECTROLYTIC CHROMATION WITH THE PURPOSE TO INCREASE WEAR-RESISTANCE OF EQUIPMENT DETAILS

E. Yu. Kobozeva

*Ryazan State Radio Engineering University
Russia, Ryazan, lenkob@bk.ru*

Abstract. In this paper, we present a review of the application of electrolytic chrome plating of parts of equipment for petrochemical industries with the aim of imparting special functional properties to the surface, and the requirements for chromium electrolyte are indicated. Modified variants of applying galvanic chromium are considered, a comparative analysis of their advantages and disadvantages is made.

Keywords. Chrome plating, wear resistance, galvanic technology, electroplating.

Введение

Впервые электролитический хром был получен в середине XIX века из растворов соединений трехвалентного хрома. Тем не менее, практическое применение в гальванопокрытии нашли электролиты, содержащие шестивалентные соединения хрома, и первые промышленные установки, работающие на этих электролитах, были созданы только в 20-х годах XX века.

Использование электролитов на основе соединений трехвалентного хрома значительно ускорило бы процесс хрома, поскольку электролитический эквивалент хрома из трехвалентных соединений в два раза выше, чем у шестивалентных соединений, а эффективность тока в 4-5 раз выше. Однако многочисленные исследования показали, что осадки хрома, полученные из растворов трехвалентных соединений, не могут использоваться в гальванопокрытии из-за их плохой адгезии к основному материалу и значительного содержания оксида хрома, что делает их чрезвычайно хрупкими и уменьшает механические свойства хрома [1].

Важные характеристики электролитического хрома - высокая химическая стойкость, устойчивость к механическому износу, относительно высокая светоотражаемость и т. д. - определяют различные способы использования хрома в современной технологии. Основные из них включают декоративную отделку и защиту деталей от коррозии, повышение износостойкости новых деталей и восстановление изношенных размеров.

Износостойкие покрытия хромом

Износостойкое хромирование имеет три основных направления: 1) повышение износостойкости новых деталей и инструментов; 2) восстановление размеров изношенных деталей и 3) коррекция деталей, размеры которых были занижены во время обработки.

Для износостойкого хромирования рекомендуются следующие общие условия. Толщина слоя покрытия, как правило, не должна превышать 0,3-0,5 мм. Покрытие должно иметь одинаковую толщину по всей поверхности детали. Основной металл детали должен иметь относительно высокую твердость. Это особенно верно для деталей, которые работают при высоких удельных нагрузках или концентрируют свое действие на отдельных участках поверхности покрытия [1].

Выбор типа и метода хромирования определяется условиями эксплуатации, формой и размером деталей. Если при трении рабочих поверхностей деталей смазывание оказывается труднодоступно, а удельные нагрузки достаточно высоки, следует использовать пористую хромовую оболочку. В других случаях используется осаждение плотных хромовых покрытий.

Осаждение хрома. По сравнению с защитно-декоративными покрытиями с хромом, процесс износостойкого хромирования имеет некоторые особенности [1]:

- 1) Напряжение на выводах ванны выше (около 5,5 В), что является следствием использования менее концентрированных и менее электропроводящих электролитов;
- 2) Плотность тока, используемая для хромирования, в несколько раз больше;
- 3) Толщина слоя хрома намного больше, что является причиной заметного увеличения времени процесса, который в некоторых случаях достигает дня;
- 4) Режим электролиза должен поддерживаться в строго определенных пределах; колебания плотности тока и температуры электролита во время электролиза могут вызвать дополнительные напряжения в слое осажденного хрома;
- 5) Хромом в основном покрываются стальные и чугунные части машин, не применяя при этом слой-подложку какого-либо другого металла.

Основной электролит для осаждения хрома состоит из двух компонентов: хромового ангидрида и серной кислоты. Соотношение масс между этими компонентами должно быть 100: 1. При этом отношении достигается максимальная выходная мощность. Для износостойкого хромирования обычно используются разбавленные (150 г/л CrO_3 и 1,5 г/л H_2SO_4) и универсальные электролиты (250 г/л CrO_3 и 2,5 г/л H_2SO_4). Приготовление электролита для хромирования предпочтительно на дистиллированной воде. Применение водопроводной воды возможно при условии абсолютного отсутствия механических примесей, следов органических соединений, ионов хлора и следов азотной кислоты.

Токовый выход уменьшается с увеличением концентрации хромового ангидрида и имеет максимальное значение при отношении $\text{CrO}_3: \text{H}_2\text{SO}_4$, равном 100. Он повышается с увеличением плотности тока и снижением температуры электролиза.

Виды хромовых покрытий

ПЛОТНОЕ ПОКРЫТИЕ (или обычное - твердое, износостойчивое) используется для повышения износостойкости вновь изготовленных деталей и для восстановления деталей, которые были использованы. При выборе режима износостойкого хромирования учитывается, что области для получения самых твердых и износостойких покрытий не совпадают.

Толщина износостойких покрытий от 3 до 20 микрон для измерительных и режущих инструментов, до 50-60 микрон при применении к матрицам, формам, валам и частям различных машин. При восстановлении изношенных деталей толщина покрытия может достигать 0,2 - 0,5 мм.

ПОРИСТЫЕ ПОКРЫТИЯ, обладающие высокими антифрикционными свойствами и износостойкостью, используются для нанесения на цилиндры двигателей внутреннего сгорания, поршневых колец и некоторых других деталей [2]. Эти покрытия обусловлены пористостью, обнаруженной в покрытии анодным травлением, или путем предварительного покрытия поверхности основного металла специальными углублениями, способными удерживать смазочные масла на своей поверхности под воздействием высоких рабочих температур.

Толщина пористого хрома на вновь изготовленных деталях составляет 0,04-0,07 мм. При восстановлении изношенных гильз цилиндров толщина может составлять 0,1-0,3 мм.

Назначение хромирования на детали оборудования

Основным видом гальванического покрытия нефтеперерабатывающего оборудования (поршневые кольца, клапаны и другие части насосов, компрессоров, фитингов и приборов) является хромирование. Толщина слоя покрытия, в зависимости от назначения, составляет 0,008-0,7 мм. Части, имеющие слой покрытия этой толщины, не требуют дополнительной обработки [3].

Хромированные покрытия являются защитными, декоративными и функциональными. Хром по отношению к стали представляет собой катод, и при контакте будет разрушаться сталь. Поэтому хромовые покрытия на стали должны быть непрерывными и непористыми.

Стальные изделия могут быть защищены от коррозии в атмосфере однослойным хромовым покрытием толщиной не менее 40 микрон.

Для деталей медных и медных сплавов хром осаждается на подслое никеля. Части из цинка, алюминия, магниевых сплавов покрываются хромом после нанесения многослойного покрытия.

Во время электролиза на катоде Cr^{+6} одновременно восстанавливается до Cr^{+3} и металлического хрома, а также разряда ионов водорода. Выход хрома не превышает 15-25%. Хромирование - сложный процесс. Хром выделяется на катоде только при очень высоких плотностях тока (1000-3000 А/м²). И для каждой температуры существует минимальная плотность тока, ниже которой хром не осаждается.

Изменяя режим электролиза, можно получить блестящие, матовые (серые) или «молочные» осадки хрома. Блестящие осадки имеют самую высокую твердость, хорошую адгезию к основному металлу и наименьшую хрупкость. Матовые серые осадки очень хрупкие. Покрытия с «молочным» хромом характеризуются высокой твердостью, пластичностью, значительно меньшей пористостью и более высокой защитной способностью [4].

Стальные детали устройств и машин, работающих в тяжелых условиях эксплуатации, покрыты двумя слоями хрома: нижний - молочный, а верхний - блестящий. Это обеспечивает хорошую защиту от коррозии и высокую износостойкость с необходимыми декоративными качествами.

Хромированное покрытие используется для защитной и декоративной отделки деталей, поверхность которых, наряду с коррозионной стойкостью, должна иметь низкий коэффициент отражения света. По сравнению с другими покрытиями черного цвета черное хромированное покрытие отличается повышенной коррозионной стойкостью. Наносится черный хром на подслое молочного или блестящего хрома или никеля. Черные хромовые покрытия состоят из 75% металлического хрома и 25% оксидов хрома.

Прогрессивные методы хромирования

Наномодифицированные хромовые гальванические покрытия. Технология основана на добавление к стандартному электролиту хромирования фуллереноподобных углеродных нанотрубок (УНТ) [5]. УНТ представляют собой длинные полые волокна, состоящие из графеновых слоёв фуллереноподобной конструкции. Количество графеновых слоёв – не более 30, диаметр от 10 до 60 нанометров. При этом количественного структурированного углерода не менее 95%.

Также рассматривался вопрос использования таких наноматериалов, как ультрадисперсные алмазы, диоксид церия, диоксид титана. При этом у хромовых покрытий увеличивалась микротвёрдость, износостойкость, коррозионная стойкость.

Электроосаждение композиционных хромовых покрытий. Такие покрытия интересны для практического применения по ряду причин, среди которых простота их получения по отношению к металлургическим методам, возможное улучшение свойств покрытия по сравнению со свойствами металла матрицы и др. [6].

Покрытия, получаемые из хромовокислых электролитов, являются наиболее привлекательной матрицей для соосаждения мелкодисперсных частиц из-за высоких твёрдости и износостойкости хрома относительно большинства других гальванических покрытий, используемых в промышленности. Однако реализация такого композиционного покрытия наиболее затруднена среди прочих ввиду сложного формирования даже простого хромового покрытия. Прикатодная плёнка, которая присутствует в момент электроосаждения, по видимому, выступает в роли барьера для проникновения частиц к поверхности катода и дальнейшего включения в покрытие. Также ограничением может оказаться окислительная среда самого электролита, которая может оказывать воздействие на материал вводимых дисперсных частиц.

Обычно в качестве материала второй фазы для получения композиционных покрытий электрохимическим способом применяются частицы с высокой твёрдостью: оксиды, нитриды, карбиды, сульфиды металлов, устойчивые в среде электролита.

Хромирование из ионных жидкостей. Ионные жидкости привлекли интерес научной общественности лишь последние два десятилетия, и этот интерес продолжает расти. Термин «ионная жидкость» введён примерно в 1995 г. в качестве расплавов органических солей, состоящих из объёмных органических катионов и неорганических или органических анионов с температурой плавления ниже 100°C. По своим свойствам они близки к расплавам обычных неорганических солей. Однако в отличие от неорганических солей, органические соли не состоят из ионов правильной сферической формы, что приводит к меньшей энергии связи в кристаллическом состоянии и понижению температуры плавления [7]. В связи с этим использование ионных жидкостей в качестве растворителей в современной гальванотехнике является перспективным. Как показывают исследования, осаждение металла из ионных жидкостей, содержащих тот же металл в составе катиона, происходит достаточно легко. Приготовление ионной жидкости включает в себя смешивание двух компонентов (например, холин хлорида ChCl и хрома (III) хлорида гексагидрата CrCl_3) в определенном соотношении в мольных долях (1:2, 1:1, 3:1 и т.д.) при нагревании (90-120°C).

Одним из возможных дефектов хромовых покрытий, полученных из ионной жидкости, является шероховатость поверхности, которая связана с плохим отрывом пузырьков водорода от поверхности образцов во время электролиза из-за относительно высокой динамической вязкости ионной жидкости.

Хромирование путём гальванохоингования. Хромирование с механическим воздействием на поверхность катода в процессе осаждения позволяет получать качественные зеркальные осадки с шероховатостью $\leq 0,02$ мкм, в том числе значительной толщины (до 0,5-1,0 мм). Установки для гальванохоингования представляют собой ванну и бак с хромовым электролитом, источник постоянного тока, погружной насос, механизм вращения и перемещения анода с притирами, гидравлическую систему трубопроводов и электросистему с щёточными контактами к движущемуся электроду. Скорости перемещения (0-4,5 м/мин) и вращения (0,1-800 об/мин) регулируются плавно [8].

Получение качественных зеркальных осадков хрома с шероховатостью $R_a \leq 0,02$ мкм в условиях гальванохоингования, в первую очередь, зависит от двух факторов: твёрдости хоинговального материала и усилия его прижатия к катоду. Чем твёрже хоинговальный притир (брусок), тем стабильней эффект и область получения зеркального покрытия. Для каждого материала бруска есть свои пределы давления на катод, обеспечивающие получение стабильного зеркального покрытия. Отличительной особенностью процесса гальванохоингования от штатного хромирования является возможность получать зеркальные покрытия с

$R_a \leq 0,02$ мкм вне зависимости от шероховатости основы (в пределах $R_a \leq 1,25$ мкм). При этом интервалы параметров осаждения таких покрытий значительно шире интервалов параметров обычного процесса и составляют:

- температура процесса — 40-80°C;
- плотность тока — 30-900 А/дм²;
- соотношение CrO₃: H₂SO₄ — 50:1-110:1.

Выводы

Увеличение срока службы изделий, работающих на трение - перспективная область развития науки и техники. Применение новых материалов, модифицированных электролитов и технологических режимов при электроосаждении хромового покрытия даст возможность продлить работоспособность деталей оборудования, сократив затраты на ремонт и обслуживание.

Библиографический список

1. Черкез М.Б. Хромирование. — Л.: Машиностроение, 1971. — 112 с.
2. Ажогин Ф.Ф., Бельский М.А., Галль Е.И. и др. Гальванотехника. — Справ. изд. / М.: Металлургия, 1987. — 736 с.
3. Лейбо А.Н., Хесин Э.Б., Черняк Я.С. Справочник механика нефтеперерабатывающего завода. — М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. — 804 с.
4. Кац Н.Г., Стариков В.П., Парфёнова С.Н. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки от коррозии. — Учебное пособие / М.: Машиностроение, 2011. — 436 с.
5. Литовка Ю.В., Дьяков И.А., Кузнецова О.А., Ткачёв А.Г., Попов Д.Ю., Столяров Р.А. Наномодифицированные хромовые гальванические покрытия [Текст] / Литовка Ю.В., Дьяков И.А., Кузнецова О.А., Ткачёв А.Г., Попов Д.Ю., Столяров Р.А. // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2011. — Т. XIX. — №4. — С. 29-35.
6. Железнов Е.В., Смирнов К.Н., Кудрявцев В.Н. Электроосаждение композиционных хромовых покрытий из электролитов, содержащих частицы вюрцитоподобного нитрида бора [Текст] / Железнов Е.В., Смирнов К.Н., Кудрявцев В.Н. // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2015. — Т. XXIII. — №2. — С. 34-37.
7. Солодов А.С., Солодов М.С., Соболева Е.С., Кошель С.Г. Исследование закономерностей хромирования из ионной жидкости на основе холин хлорида и хлорида хрома (III) [Текст] / Солодов А.С., Солодов М.С., Соболева Е.С., Кошель С.Г. // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2014. — Т. XXII. — №1. — С. 34-37.
8. Ким В.Е., Макеенко Е.Я., Василевский В.В. Исследование процесса хромирования способом гальванохинирования [Текст] / Ким В.Е., Макеенко Е.Я., Василевский В.В. // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2008. — Т. XVI. — №2. — С. 23-26.

УДК 661.92; ГРНТИ 61.01.94

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ АО "РНПК"

Е.В. Зубкова, А.А. Ширяев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань*

Аннотация. В статье представлены способы контроля за выбросами в окружающую среду санитарно-защитной зоны. Рассмотрены актуальные экологические проблемы, связанные с вредными выбросами нефтеперерабатывающих предприятий, а также предложены пути их решения.

Ключевые слова. Экологические проблемы, вредные вещества, загрязнения, атмосферный воздух, выбросы.

ANALYSIS OF MONITORING OF THE ENVIRONMENT OF THE SANITARY PROTECTION ZONE OF JSC RNPК

E.V. Zubkova, A.A. Shiryaev

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan

Abstract. Ways of control of emissions in the environment of the sanitary protection zone are presented in article. The current environmental problems connected with harmful emissions of the oil processing enterprises are considered and also ways of their solution are proposed.

Keywords. Environmental problems, harmful substances, pollution, atmospheric air, emissions.

Введение

Научно-техническое развитие поставило перед населением земли ряд новых, очень трудных задач, с которыми оно до этого не сталкивалось вовсе, или же эти трудности не были столь масштабными. Среди этих трудностей, особое место занимают взаимоотношения между человеком и окружающей средой, так как на природу легла нагрузка, вызванная 4-кратным подъемом численности населения и 18-кратным увеличением объема мирового производства.

Город сосредотачивает на собственной земле значительное число разнообразных техногенных объектов, которые считаются источником загрязнения окружающей среды, а еще предпосылкой ухудшения самочувствия людей.

Среди большого количества источников загрязнения особое месторасположение занимают промышленные компании. По характеру и масштабам воздействия они значимо выделяются.

Среди множественных промышленных производств особое пространство занимают нефтеперерабатывающие компании, относящиеся к типу крупнотоннажных как по размеру выпускаемой продукции, так и по размеру вредоносных выбросов.

Вредные компоненты оказывают плохое влияние на здоровье человека и могут влиять различными способами:

- ядовитые газы попадают напрямую в дыхательную систему человека;
- загрязнения увеличивают кислотность атмосферных осадков. Выпадая в качестве дождя и снегопада, вредные вещества нарушают химический состав земли и воды.
- попадая в атмосферу, они вызывают конкретные химические реакции в воздушной атмосфере, которые провоцируют более длительное влияние солнечной радиации на живые организмы.
- глобально изменяют химический состав, температуру воздуха, формируя, таким образом, негативные обстоятельства для выживания.

Как видно из сказанного выше, экологический кризис требует незамедлительных действий. Поэтому загрязнения атмосферного воздуха крупными предприятиями, таких как нефтеперерабатывающий завод, должны быть минимизированы. Организация контроля осуществляется СанПиН, ГОСТ, руководящими документами и методическими указаниями.

Политика компании АО "Роснефть"

Как раз в следствии этого АО "Роснефть" создала политику компании которая ориентирована в область качества, энергоэффективности, охраны труда, охраны окружающей среды и промышленной безопасности. Данная политика обеспечивает минимизацию воздействия на окружающую среду и рациональное использование природных ресурсов и энергии. Контроль выбросов выполняется в согласовании с графиком производственного экологического контроля атмосферного воздуха в санитарно-защитной зоне и промышленной площадке. Прогноз атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны - один из составляющих комплекса исследований, на основании которого складывается оценка совместной

экологической ситуации. Совместную оценку загрязненности воздуха возможно образовать лишь только впоследствии длительного прогноза. Еще надо принимать во внимание, что отбор проб атмосферного воздуха выполняется при конкретных метеоусловиях.

В большинстве случаев воздух изучают на присутствие в нем: предельных углеводов, оксида углерода, сероводорода, диоксида азота и серы, аммиака и фенола. Для каждого загрязняющего компонента уточняется своя периодичность взятия проб.

Анализ атмосферного воздуха

Анализ атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны включает регулярный контроль специально выделенной территории между промышленными предприятиями и близлежащими жилыми или общественными зданиями, обеспечивающая уменьшение влияния загрязнения на атмосферный воздух до значений, поставленных гигиеническими нормативами, а так же формирование мониторинга. Исследования необходимы, чтобы установить концентрации вредоносных веществ в атмосферном воздухе и обеспечить его безопасность для населения.

Анализ включает в себя :

- сбор информации об источниках выбросов и исследование их влияния на положение атмосферного воздуха;
- подготовку комплексной оценки состояния окружающей среды;
- формирование мониторинга последующей динамики;
- получение информации об эффективности мероприятий по защите окружающей среды.

При проведении анализа определяют следующие характеристики:

- метеорологические показатели;
- загрязнённость воздуха.

Программа изучения лаборатории имеет:

- список загрязняющих веществ;
- местоположение контрольных точек;
- периодичность отбора проб (график контроля).

Численность контрольных точек, периодичность взятия проб и выбор исследуемых компонентов зависят:

- от санитарно-эпидемиологических данных объекта;
- от присутствия вредоносных моментов и степени влияния их на окружающую среду и самочувствие людей.

Мониторинг атмосферного воздуха

Экологический мониторинг – это долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей среды, ее загрязнением и происходящими в ней природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния природной среды.

Контрольные точки для взятия проб избирают в зависимости от месторасположения источников выброса и жилой зоны с учётом розы ветров и карт рассеивания. Измерения как правило проводят в трёх точках, одна из которых находится на границе близлежащих жилых построек.

Отбирать воздух на анализ необходимо в течение 20–30 минут в соответствии графика производственного экологического контроля отбора проб зимой, весной, летом и осенью, так как на рассеивание вредоносных примесей воздействует время года. Пробы отбирают на уровне 1,5 метра от плоскости земли в числе, соответствующем ГОСТу.

В случае если важна более конкретная информация, то в контрольных точках ставят стационарные посты, на которых располагают газоанализаторы на более важные показатели.

Газаанализаторы - это измерительный прибор, который анализирует газовые смеси. Они классифицируются:

- по методу измерения, положенного в основу;
- по количеству измеряемых компонентов (однокомпонентные, многокомпонентные).

Так же газоанализаторы делятся по принципу действия:

- хемилюминесцентные;
- флуоресцентные;
- электрохимические.

Каждый газаанализатор рассчитан на определенный компонент в атмосферном воздухе. Принцип действия основан на измерении интенсивности продуктов химической реакции, которые проходят между определенным компонентом и датчиком или УФ-излучение.

Пробы атмосферного воздуха отбирают в герметически закрывающиеся медицинские шприцы, а так же прокачивают сорбционные трубки. В протоколе отмечают дату и время отбора проб, метеорологические условия, объем отобранного воздуха, способ, использовавшийся для проведения анализа, концентрацию каждого вредоносного компонента.

Есть несколько способов изучения атмосферного воздуха. Но чаще всего прибегают к газовой хроматографии и аналитическому контролю. Хроматография - это физико-химический способ деления компонентов смеси при её перемещении вдоль слоя сорбента. Данный способ заключается в многократном повторении сорбции и десорбции. Проявительный способ заключается в том, собственно что смесь переносится сквозь адсорбирующий слой потоком газа-носителя. Разделенные составляющие выделяются из колонки различными группами, а в промежутке между группами газ-носитель.

Данный метод характеризуется высочайшей точностью и разрешает выявить в том числе небольшие концентрации химических веществ в сложных газовых смесях.

Аналитический контроль основан на улавливании отдельных компонентов из атмосферного воздуха пленочным хемосорбентом и фотометрическом определении по соединению, образующегося в результате взаимодействия этого компонента с определенными химическими реактивами.

Объемы выбросов должны соответствовать нормативам предельно допустимые выбросы, которые разрабатываются индивидуально для каждой организации.

Выводы

Во время изучения воздуха определяют процентное отношение вредных для здоровья человека компонентов. Их соотношение должна соответствовать установленным нормам. Если же уровень загрязнения выше предельно допустимых норм, то необходимо принять предупреждающие меры. Для наиболее конкретной информации необходима установка стационарных постов, они осуществляют автоматический отбор проб по несколько раз в сутки.

Библиографический список

1. Приказ от 31 декабря 2010 г. N 579 "О порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учету и нормированию, и о перечне вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учету и нормированию.
2. Приказ от 1 марта 2011 г. № 112 "Об утверждении Инструкции по осуществлению государственного контроля над охраной атмосферного воздуха".
3. Об охране окружающей среды. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ.
4. Об охране атмосферного воздуха. Федеральный закон от 04.05.99 N 96-ФЗ.
5. Гусев А.А. Современные экономические проблемы природопользования: Международные отношения, 2004. - 208 с.
6. Шимова О.С., Соколовский Н.К. Основы экологии и экономики природопользования. Учебник Мн.: БГЭУ, 2002 -367с.

УДК 66.092.094.25.097; ГРНТИ 61.51.19

ГИДРООЧИСТКА И ДЕПАРАФИНИЗАЦИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Е.М. Шалыгина, А.А. Ширяев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, Shalyginae.m@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается актуальная проблема производства дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами. Развитие процессов гидроочистки/депарафинизации средних дистиллятов позволяет решить эту проблему, а так же повысить выход и качество целевых продуктов.

Ключевые слова. Гидроочистка, каталитическая депарафинизация, n-парафины

HYDROFINING AND DEWAXING DIESEL FUEL

Y.M. Shalygina, A.A. Shiryayev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, Shalyginae.m@mail.ru*

Abstract. In this paper, the current problem of the production of diesel fuels with improved low-temperature properties is considered. The development of hydrofining/dewaxing processes of medium distillates allows to solve this problem, as well as to increase the yield and quality of the target products.

Keywords. hydrofining, catalytic dewaxing, n-paraffins

Введение

Сейчас дизельное топливо применяется в качестве топлива для железнодорожного транспорта, грузовых автомобилей, сельскохозяйственной техники и водного транспорта. Кроме того, сегодня все больше автолюбителей предпочитают автомобили с дизельными моторами. Рост промышленного производства и увеличение количества механизмов приводят к ужесточению требований к качеству топлив, потребляемых ими.

В России, на данный момент, актуален ГОСТ Р 52368-2005 «Топливо дизельное ЕВРО», который регламентирует выпуск ДТ ЕВРО 6-ти сортов с использованием в умеренном климате (А, В, С, D, E, F) и 5 классов с использованием в холодном и арктическом климате (0, 1, 2, 3, 4, 5).

Ведущими каталитическими процессами в переработке нефти и нефтехимии являются гидроочистка и гидрооблагораживание фракций нефти, на которые приходится 33 % мировой первичной переработки нефти. На начало XXI века основной вес этих процессов составил: в США – 30,5 %, Западной Европе – 23,3 %, в России – около 5 %. В связи с развитием процессов углубленной нефтепереработки в нашей стране гидроочистка и гидрооблагораживание нефтепродуктов получили заметный рост [1].

Гидроочистка дизельного топлива

Процессу гидроочистки отводится основная роль в решении задач по увеличению производства компонентов малосернистых дизельных топлив [2].

Дизельное топливо – это смесь ароматических, нафтеновых и парафиновых, углеводородов, выкипающих в пределах 170-380 °С. Получают дизельное топливо прямой перегонкой керосиново-газойлевых фракций нефти. К показателю самовоспламеняемости дизельного топлива относят цетановое число, которое соответствует содержанию цетана в смеси (%) с α -метилнафталином, имеющее период задержки самовоспламенения, как и испытываемое топливо [3].

Одни из важнейших характеристик по эксплуатации дизельного топлива – его свойства, характеризующие подвижность топлива в отрицательных температурах. Дизельное

топливо может содержать растворенные парафиновые углеводороды, кристаллизирующиеся при понижении температуры. Для оценки низкотемпературных свойств используют температуры помутнения и застывания.

Потенциальность привлечения к переработке новых сортов сернистых и высокосернистых нефтей стала одним из основных факторов распространения гидроочистки.

Гидроочистка - одноступенчатый процесс, который проходит в наиболее мягких условиях, чем гидрокрекинг и деструктивная гидрогенизация. Это вторичный процесс переработки нефтяных фракций, содержащих углеводороды C5 и более тяжелые, с целью удаления примесей из нефтепродуктов и повышения их качества. Процесс происходит в присутствии катализатора при давлении 1,0-4,0 МПа и температуре 260-425 °С (в зависимости от состава сырья). Очистку топлив от серусодержащих соединений проводят в «мягком» (демеркаптанация) и «жестком» режимах или «гидрообессериванием» (снижение общего содержания серы, даже высокоустойчивых соединений). Дальнейшее ужесточение условий каталитической обработки в присутствии молекулярного водорода приводит к гидродеароматизации (частичному гидрированию ароматических углеводородов) [4].

Гидроочистке подвергаются не только товарные целевые фракции но и сырьевые компоненты других установок, в которых нежелательно или недопустимо присутствие сернистых, кислородосодержащих, азотосодержащих соединений и тяжелых металлов.

При гидроочистке вырабатываются исходные нефтепродукты, очищенные от серы, при этом изменяется состав углеводородов в гидроочищенном сырье - уменьшается количество полициклических ароматических углеводородов, увеличивается содержание моноциклических ароматических и нафтеновых углеводородов и сильно снижается содержание смол и асфальтенов.

При производстве низкозастывающих дизельных топлив с ультранизким содержанием серы, перед нефтеперерабатывающими предприятиями стоят две проблемные задачи: значительное углубление гидроочистки и улучшение низкотемпературных качеств. Процесс гидродепарафинизации дает возможность изменять химический состав исходного сырья, увеличивать степень его использования и повышать выход и качество целевых продуктов в широких пределах.

Каталитическая депарафинизация

Депарафинизация - процесс с помощью которого происходит удаление n-алканов из дистиллята, для снижения температуры застывания и помутнения дизельного топлива в зимний период, а так же получения парафина (концентрата n-алканов).

Данный процесс предназначен для снижения содержания таких гетероорганических соединений, как: сера, азот, кислород, мышьяк, галогены, металлы, непредельные соединения и парафины, что способствует улучшению экологических показателей и эксплуатационных топлив. Депарафинизация основана на селективном гидрокрекинге – частичном расщеплении парафинов на более мелкие молекулы нефтепродуктов, у которых сильно снижена способность парафинообразования.

Для производства топлив с улучшенными свойствами при низких температурах, применяются 6 способов углубляющих переработку нефти:

- снижение конца кипения дизельной фракции;
- смешивание дизельного топлива с гидроочищенной керосиновой фракцией;
- удаление n-парафинов методом экстрактивной кристаллизации;
- использование депрессорно-диспергирующих присадок;
- каталитическая изомеризация;

– каталитическая депарафинизация.

Основным процессом, позволяющим снизить содержание парафинов нормального строения в дизельных топливах, является каталитическая депарафинизация (гидродепарафинизация).

В исследованиях фирм «Mobil», «Shell» и «Zud-Chemie» большое внимание уделялось влиянию сероводорода на скорость процесса скорость дезактивации катализаторов и депарафинизации. В результате проведенных исследований установлено, что для сырья с различным содержанием серы применяются различные процессы производства зимнего дизельного топлива (рисунок 1) [5].

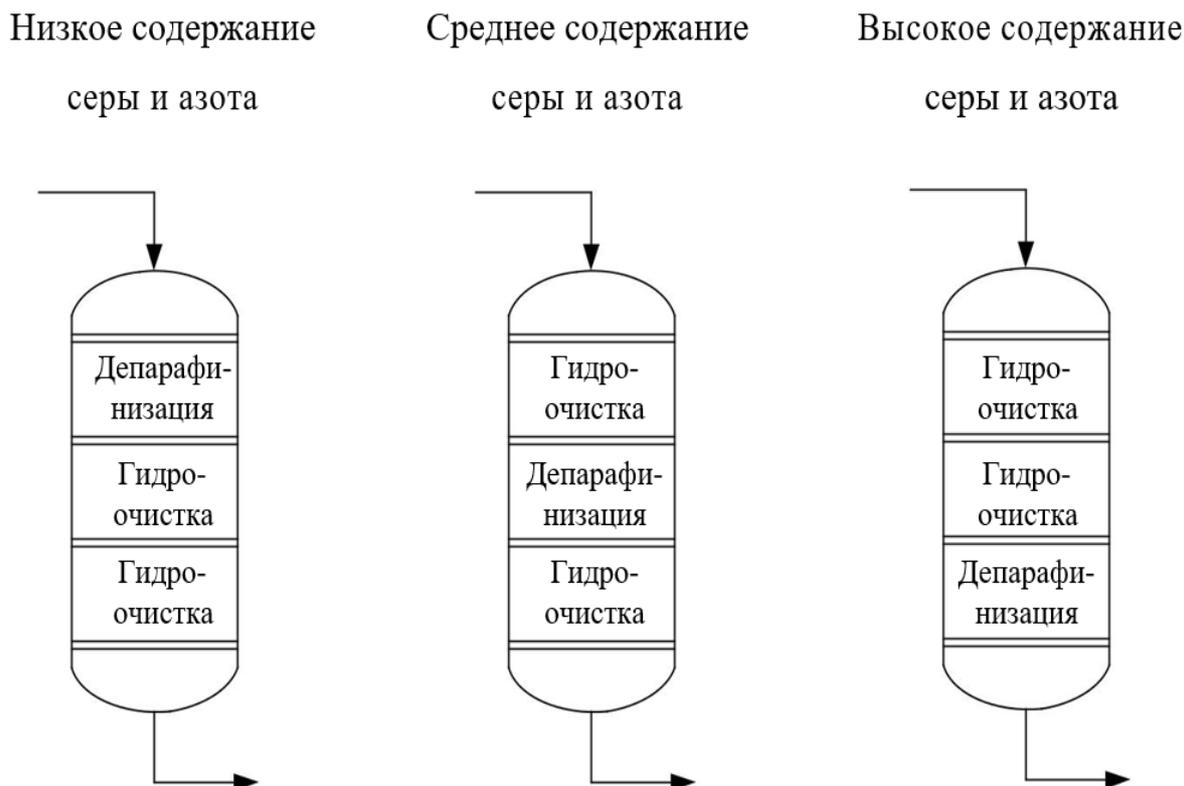


Рис. 1. Направления получения дизельного топлива из сырья с различным содержанием серы и азота

Выявлено:

1. Сырье с очень низким содержанием серы используется только при отдельно стоящем реакторе с катализатором депарафинизации;
2. Сырье с концентрацией менее среднего содержания серы и азота пропускают последовательно через реактор с катализатором депарафинизации, а затем через реактор с катализатором гидрообессеривания;
3. Сырье с концентрацией серы и азота от средней до высокой, пропускают последовательно через реакторы с катализаторами гидрообессеривания и депарафинизации;
4. Сырье с большим содержанием азота и серы последовательно пропускают через реакторы с катализаторами гидрообессеривания, депарафинизации и доочистки;
5. Наибольший эффект наблюдается при удалении ингибирующего влияния сероводорода промежуточной сепарацией сероводорода и аммиака между реакторами депарафинизации и гидрообессеривания.

Сейчас в России, зимнее дизельное топливо, каталитической депарафинизацией, производят шесть заводов [5]:

1. ООО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка». Специализированная установка ГДС-850.
2. ОАО «Сургутнефтегаз» Завод стабилизации конденсата. Специализированная установка ЛКС 35-64.
3. ООО «КИНЕФ». Специализированная установка Л-24-10/2000.
4. НК «Роснефть» Ачинский НПЗ. Модернизированная установка ЛК-6у.
5. НК «Роснефть» Комсомольский НПЗ. Специализированная установка.
6. ОАО «Газпромнефть – Омский НПЗ». Последовательный процесс на установке Л-24-9х РТ, а затем на установке Л-24-6.

Выводы

Увеличение доли переработки парафиновых, сернистых и высокосернистых нефтей и спрос на дизельное топливо, в последние годы, вызвало особое внимание к развитию процессов гидроочистки/депарафинизации средних дистиллятов. В настоящее время гидроочистки/депарафинизации подвергают более 80% дизельных фракций.

На данном этапе развития переработки нефти предприятия начали глобальную модернизацию производств в сторону углубленной нефтепереработки и улучшения качества товарных продуктов нефти методом внедрения такого процесса, углубляющего переработку нефти и повышающего качество продуктов, как каталитическая депарафинизация. Продолжение реализации программ усовершенствования российских нефтеперерабатывающих заводов методом введения этого процесса, позволит повысить глубину переработки нефти до 82-85 % к 2020 г. и производить компоненты дизельных топлив, удовлетворяющих современным требованиям к их качеству.

Библиографический список

1. Дуплякин, В.К.; Современные проблемы российской нефтепереработки и отдельные задачи ее развития // Рос. хим. ж. – 2008. – №4. – 25 с.
2. Капустин В.М., Лурия В.Б. ОАО «Газпромнефть-Московский НПЗ». Модернизация установки гидроочистки с целью получения дизельного топлива Евро-5 // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – № 1. – С. 31-32.
3. Мейерс Роберт А. Основные процессы нефтепереработки под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. — СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 944 с.
4. Т.Л. Канделаки Нефтепереработка, газопереработка и нефтехимия в РФ 2015-2035 гг. — Москва: ИнфоТЭК-КОНСАЛТ, 2016.
5. Лебедев Б.Л., Афанасьев И.П., Ишмурзин А.В., Талалаев С.Ю., Штеба В.Э., Камешков А.В., Домнин П.И. Производство зимнего дизельного топлива в России // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2015. – № 4. – № 4. – С. 19-27.

УДК 66.092.094.25.097; ГРНТИ 61.51.19

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ АВАРИЙНОЙ ПРОДУВКИ РЕАКТОРОВ ИЗОМЕРИЗАЦИИ 02-Р-2А, 02-Р-2Б

П. А. Фокин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань*

Аннотация. Основной целью проекта, является оптимизация схемы продувки азотом высокого давления реакторов изомеризации 02-Р-2А,Б.

Практическая значимость проекта предусматривает более скорейшую продувку реакторов азотом высокого давления, сохранение дорогостоящего платинасульфатциркониевого катализатора СИ-2, сокращение время простоя и вывода установки на нормальный технологический режим.

OPTIMIZATION SCHEMES VARY TO PRODUCE REACTORS NOTE 02-P-2A, 02-P-2B.

P. A. Fokin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia*

Abstract. The main objective of the project is to optimize the circuit to produce high-pressure type Reactor Note 02-P-2A, B. Practical significance of the project provides for more speedy DV type reactors, high pressure, saving of expensive catalyst platinum solutions SI-2, the reduction time pros and output setup for normal operation.

Введение

Низкокалорийный сброс – это аварийный брос углеводородных газов из реакторов изомеризации 02-Р-2А,Б (через сепаратор 02-С-4) и продувочного азота высокого давления.

Действующая схема аварийной продувки не способствует эффективному снижению температуры реактора 02-Р-2Б, в связи с этим предлагается оптимизация схемы аварийной продувки.

Актуальность процесса изомеризации в современном мире

Процесс изомеризации является одним из самых эффективных способов получения высокооктановых компонентов бензинов с улучшенными экологическими свойствами. Важность установок изомеризации возросла с увеличением требований качества автомобильных бензинов, включая ограничение по фракционному составу, содержанию ароматических соединений и бензола [1]. Установки изомеризации позволяют получить компоненты товарных бензинов с характеристиками, отвечающими жестким стандартам ЕВРО-4 и ЕВРО-5. Интенсивное увеличение мощностей, осуществляется за счет реконструкции существующих и строительства новых установок. Так же проводятся модернизации и интенсификации действующих установок изомеризации под процессы с рециркуляцией нормальных парафинов. Сырьём изомеризации являются легкие бензиновые фракции нк-85 °С. Повышение октанового числа достигается за счёт увеличения доли отгона изопарафинов. Процесс осуществляется, в одном или двух реакторах при температуре, в зависимости от применяемой технологии, от 110 до 350 °С и давлении до 32 атм. [2].

Общая характеристика производственного объекта

Установка ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 входит в состав комплекса установки низкотемпературной изомеризации.

Установка изомеризации предназначена для переработки пентан-гексановой фракции в высокооктановый компонент товарного автобензина по лицензированной технологии

низкотемпературной изомеризации «ИЗОМАЛК-2».

Установка низкотемпературной изомеризации ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 состоит из следующих секций:

- секция 100 – секция гидроочистки:
 - ♦ реакторный блок – очистка пентан-гексановой фракции от сернистых, азотистых, кислород- и хлорсодержащих соединений, влаги и металлоорганических соединений, являющихся ядами катализатора изомеризации;
 - ♦ блок отпарки – удаление из нестабильного гидрогенизата легких углеводородов C_1 - C_4 , паров воды, водорода, аммиака, хлористого водорода и сероводорода с целью получения стабильного гидрогенизата, направляемого в секцию изомеризации.
- секция 200 – секция изомеризации:
 - ♦ блок деизопентанизации – выделение изопентановой фракции из стабильного гидрогенизата секции гидроочистки;
 - ♦ реакторный блок – изомеризация парафиновых и нафтеновых углеводородов, гидрирование нафтеновых и ароматических углеводородов смесового сырья изомеризации (смесь деизопентанизированной фракции с боковым погоном деизогексанизатора);
 - ♦ блок стабилизации – удаление из нестабильного изомеризата легких углеводородов C_1 - C_4 и водорода с целью получения стабильного изомеризата;
 - ♦ блок деизогексанизации – разделение стабильного изомеризата на изогексановую фракцию, тяжелый изомеризат и боковой погон.
- секция 300 – вспомогательные системы – вспомогательные узлы, обеспечивающие жизнедеятельность установки.

Вспомогательные системы включают в себя:

- блок дожимного компрессора водородсодержащего газа;
- узел емкости кислой воды;
- узел аварийной, факельной, дренажной емкостей и вывода некондиции;
- узел подачи охлаждающей жидкости (раствор этиленгликоля) к насосам;
- узел подачи воздуха КИП;
- узел аварийной продувки реакторов;
- узел подачи технического воздуха и азота;
- блок подготовки топлива;
- закрытый факел.

Промпарк установки предназначен для приема и хранения сырья установки – фракции НК-85 °С, а так же некондиционных продуктов с установки ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 [3].

Описание существующей схемы

Расход каждого параллельного потока циркуляционного водородсодержащего газа подаваемого циркуляционным компрессором 02-ЦК-1 в узел смешения контролируется контуром сигнализацией минимального значения расхода. При одновременном падении расхода до значения $12000 \text{ нм}^3/\text{ч}$ от двух датчиков на каждом параллельном потоке срабатывает блокировка:

- закрываются отсечные клапаны:
 - ♦ 02-UV0007, 02-UV0027 на линии нагнетания насосов 02-Н-9А,Б;

- ◆ 02-UV0008 на топливном газе к основным горелкам печи 02-П-4;
- ◆ 02-UV0009 на топливном газе к пилотным горелкам печи 02-П-4;
- ◆ 03-UV0004 на свежем водородсодержащем газе в реакторный блок;
- закрывается регулирующий клапан с функцией отсечки:
 - ◆ 02-PV0407 на топливном газе к основным горелкам печи 02-П-4;
- останавливаются насосы 02-Н-9А,Б и компрессор 02-ЦК-1;
- при достижении минимального уровня в 02-С-4 по блокировке закрывается отсека-тель поз. 02-UV0012 на линии вывода нестабильного изомеризата в блок стабилиза-ции;
- открывается отсечной клапан 02-UV0014 на линии аварийного сброса давления из ре-акторного блока. Расход аварийного сброса контролируется контуром, клапан которо-го 02-FV0422 установлен на линии аварийного сброса на факел. Во время аварийной продувки поточный анализатор, установленный на линии аварийного сброса, регист-рирует содержание углеводородов. В момент снижения концентрации углеводородов до минимального значения одновременно от двух датчиков срабатывает блокировка: закрывается отсечной клапан 02-UV0014 на линии аварийного сброса давления из ре-акторного блока на факел и открывается отсечной клапан 02-UV0015 на линии ава-рийного сброса давления из реакторного блока на свечу;
- после сброса давления в сепараторе 02-С-4 до минимального значения срабатывает блокировка: открываются отсечные клапаны 02-UV0011А,В на подаче азота в 02-Р-2А,Б для продувки горячей катализаторной системы. Расход азота в реакторы 02-Р-2А,Б регулируется клапанами поз. 02- FV0408, 02- FV0409 установлены на линии подачи азота [3].

Выводы

Наиболее эффективным решением задачи аварийной продувки реакторов является оптимизация существующей схемы. Предлагаемое решение задачи позволяет осуществлять скорейшее освобождение давления в системе с последующей продувкой азотом высокого давления.

Реализация данных мероприятий позволяет снизить время аварийной продувки, тем самым сокращается время простоя установки с последующим выводом ее на технологический режим.

Библиографический список

1. Турукалов М. Полная изомеризация // Нефтегазовая вертикаль. – 2008. – № 16
2. Palmer E.R., Kao, S.H., Tung C, Shipman D.R. Consider options to lower benzene levels in gasoline. New regulations further limit this aromatic from the refinery blending pool // Hydrocarbon Processing, June 2008.
3. Технологический регламент « Установки низкотемпературной изомеризации ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800», 2016

УДК 66.063.8.069.82; ГРНТИ 61.51.17

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ

Я. Э. Лебедев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, lebedev.y.e@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе на основе исследуемых физико-химических свойств и компонентного состава гудронов различной вязкости, затемненной фракции и ТВГ подобран оптимальный состав компаундированного сырья производства битумов марок БНД 50/70 и БНД 70/100, в соответствии с требованиями ГОСТ 33133–2014

Ключевые слова. Нефтяные остатки, битум, ГОСТ 33133–2014

RESEARCH OF COMPLEX PROCESSING HEAVY PETROLEUM RESIDUE

Y.E. Lebedev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, lebedev.y.e@rsreu.ru*

Abstract. In this work on the basis of the studied physical and chemical properties and component composition of tars of various viscosity, the darkened fraction and TVG the optimum composition of the compounded raw materials of production of bitumens of the BND 50/70 and BND 70/100 brands, according to requirements of GOST 33133-2014 is picked up

Keywords. Oil residues, bitumen, GOST 33133-2014

Введение

Нефть является ценным сырьем для химической переработки, и в связи с ограниченными запасами и увеличивающимся потреблением ныне добываемых и перерабатываемых легких и средних нефтей большое значение приобретает исследование путей рациональной переработки тяжелых нефтей и нефтяных остатков.

Основные запасы углеводородов сосредоточены именно в тяжелых нефтях. По данным экспертов, мировые запасы тяжелых нефтей составляют более 800 млрд. т.

Главной задачей нефтеперерабатывающей промышленности является углубление переработки нефти с целью увеличения производства качественных моторных топлив и сырья для нефтехимии. Перерабатывать тяжелую нефть по классической схеме с целью получения топлива нерентабельно, так как содержит низкое количество светлых фракций. Высокое содержание серы и смолистых веществ также сокращает ресурс оборудования нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ).

Известно, что при переработке нефти получают до 30% тяжелых нефтяных остатков: мазут, полугудрон, гудрон. Кроме того, при добыче, транспортировке и переработке нефти образуются отходы - нефтешламы, амбарная нефть, нефтезагрязненные почвы. Все эти нефтяные остатки и отходы лишь частично (10-15%) применяются в экономике, большая же их часть используется неэффективно, например, мазут сжигают в качестве котельного топлива, нефтеотходы складывают в отвалы. В результате создается возрастающее перепроизводство тяжелых остатков и наносится ущерб окружающей среде. Поэтому сегодня в нефтепереработке остро стоит проблема создания процессов для экономичного превращения тяжелых остатков и улучшения их качества.

Переработка тяжелых нефтей и нефтяных остатков затруднена в связи с высоким содержанием серы, азота, значительной коксуемостью, большим содержанием тяжелых металлов, присутствующих в основном в виде органических комплексов и солей органических кислот. С помощью каталитических технологий сложно решить задачу глубокой переработки, не говоря уже о стопроцентной глубине переработки тяжелого нефтяного сырья, потому что эти вещества будут очень быстро приводить к коксованию активной поверхности любого катализатора.

Поэтому оптимальным способом переработки таких нефтей является переработка в нефтяные битумы, кокс, нефтяные пеки и другие нефтепродукты (рисунок 1) [1].

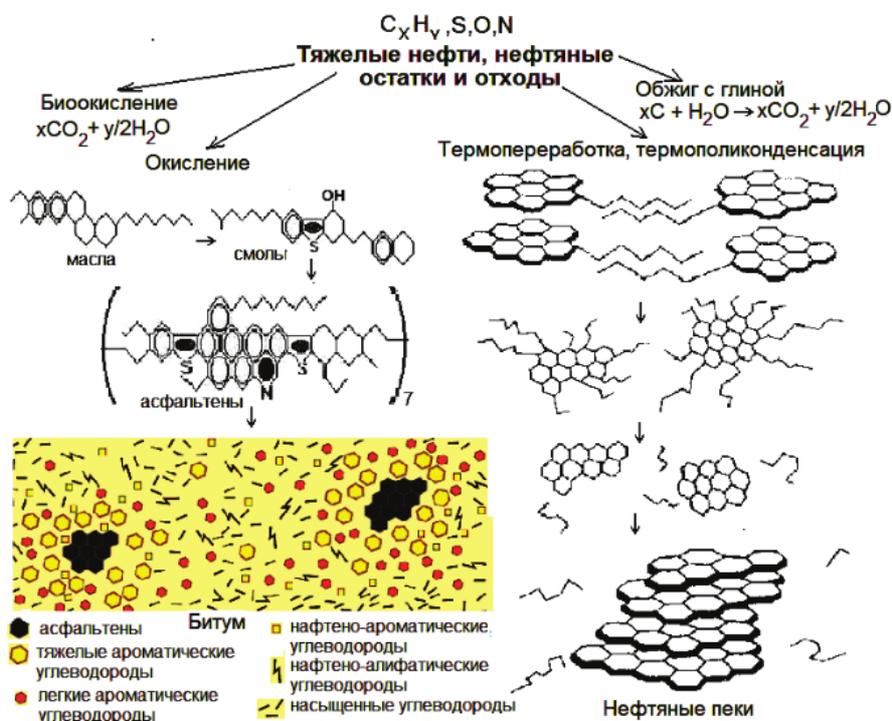


Рис. 1. Схема процессов комплексной переработки тяжелых нефтей, нефтяных остатков и отходов

Исследование и подбор сырья для производства битумов по ГОСТ 33133–2014

Значительный рост потребления дорожных битумов, а также повышение требования к их качеству, предопределяют глубокий и всесторонний подход к изучению, как свойств самих битумов, так и сырья, из которого они получены.

При определении оптимального состава сырья для производства битумов марок БНД 50/70 и БНД 70/100 по ГОСТ 33133–2014 [2] АО «РНПК» были использованы гудроны:

- с вакуумного блока ВТ–4 установки ЭЛОУ АТ-6 ВУ₈₀ — 250 с;
- с вакуумного блока ВТ–4 установки ЭЛОУ АТ-6 ВУ₈₀ — 300 с;
- с установки АВТ-4, отобранный с линии подачи сырья на установку производства нефтебитумов, ВУ₈₀ — 152 с.

В качестве компонентов для приготовления смесового сырья использовалась затемненная фракция (ЗФ) ВУ₈₀ — 53 с и тяжелый вакуумный газойль (ТВГ).

Групповой углеводородный состав сырья и компонентов, а также результаты исследований физико-химических свойств и группового углеводородного состава гудронов и компонентов представлены в таблице 1.

Из результатов проведенных исследований гудрона и компонентов смешения, которые предполагается использовать в качестве добавок к сырью окисления, видно, что представленные для испытаний гудроны являются остатками глубокой перегонки нефти, имеют предельно низкое содержание парафино-нафтеновых углеводородов и высокое, по сравнению с традиционным сырьем производства окисленных битумов, содержание смол и асфальтенов. Так, для сравнения, в стандартном сырье битумного производства полученном из западносибирских нефтей, маркируемом СБ 40/60 вязкостью от 40 до 60 с, содержание парафино-нафтеновых углеводородов находится на уровне 18–22%, смол 20–25%, асфальтенов

3–6% мас.

С повышением вязкости гудронов с 152 до 300 с наблюдается снижение содержания парафино-нафтеновых углеводородов с 6,5 % мас. и повышение содержания смол с 33,8% мас. до 36,5 % мас. и асфальтенов с 7,9 % мас. до 9,0 % мас.

Таблица 1. Результаты исследований физико-химических свойств и группового углеводородного состава гудронов и компонентов смешения

Показатели качества	Гудрон АВТ-4	Гудрон ВТ-4	Гудрон АТ-6	Компоненты	
				ТВГ	ЗФ
Вязкость условная при 80 оС, с	152,0	250,0	300,0	4,1	53
Кинематическая вязкость при 80 оС, мм ² /с	3571	5859	7789	34,09	1307
Температура размягчения по кольцу и шару, оС	33,0	36,4	38,4	-	-
Динамическая вязкость при 60 оС, Па·с	24,1	44,0	50,0	-	-
1. Масла в том числе:	58,3	56,3	55,0	89,4	66,5
Парафино-нафтеновые углеводороды (ПНУ)	8,5	7,1	6,5	48,2	23,5
2. Ароматические углеводороды (АУ):	49,8	49,2	48,5	41,2	43,0
легкие ароматические углеводороды	5,8	6,6	6,8	8,3	6,8
средние ароматические углеводороды	6,5	5,9	5,7	7,1	5,5
тяжелые ароматические углеводороды	37,5	36,7	36,0	25,8	30,7
Смолы (С)	33,8	35,3	36,5	10,6	25,7
Смолы I	11,5	10,4	10,8	4,2	10,8
Смолы II	22,3	24,9	25,2	6,4	14,9
3. Асфальтены (А)	7,9	8,4	9,0	-	7,8
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Для подбора оптимального состава и определения физико-химических свойств смесового сырья окисления предварительно нарабатывались модельные смеси на основе гудрона ВУ₈₀ — 250 с с добавкой затемненной фракции в количестве 8% мас. Согласно данным, представленным АО «РНПК», максимальное количество затемненной фракции поступающей на установку производства нефтебитумов составляет 190 т/сут. Ограничения связаны с тем, что значительная часть затемненной фракции используется в качестве рециркулята при работе вакуумной колонны К-101 (вакуумный блок ВТ-4 установки ЭЛОУ-АТ-6), и лишь незначительная часть поступает в линию подачи сырья на установку производства нефтебитумов. При работе четырех колонн окисления одновременно при выпуске дорожных и кровельных битумов, расход гудрона на установку производства битумов составляет около 100 м³/час. Максимальный расход затемненной фракции в битумном сырье — 190 т/сут или 7,9 т/час, что составляет около 8% на сырье.

Следующим этапом исследований являлось введение ТВГ в концентрациях от 10 до 25% мас. в смесь гудрона и затемненной фракции.

Смешение компонентов сырья проводили при температуре 135–140°С перемешиванием лабораторной мешалкой роторного типа при интенсивности вращения вала мешалки 150–250 оборотов/мин. Динамика изменения физико-химических свойств и группового углеводородного состава гудрона ВУ₈₀ — 250 с при введении затемненной фракции и тяжелого вакуумного газойля, представлена в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что введение ТВГ в количестве от 10 до 25% мас., значительно снижает вязкость смесового сырья. Условная вязкость смесового модельного сырья снижается с 218,5 до 37,0 с, а кинематическая вязкость - с 5211 до 881,4 мм²/с.

При анализе результатов исследований группового углеводородного состава значительные изменения наблюдаются в содержании парафино-нафтеновых углеводородов. При увеличении в составе сырья ТВГ с 10 до 25% мас. содержание парафино-нафтеновых углеводородов повышается с 8,2 до 21,8% мас.

Таблица 2. Динамика изменения физико-химических свойств и группового углеводородного состава гудрона ВУ80 — 250 с при введении затемненной фракции и тяжелого вакуумного газойля

Показатели качества	Сырье: гудрон ВУ80 – 250 + 8 % мас. ЗФ	Модельное смесевое сырьё: гудрон ВУ80-250 + 8 % мас. ЗФ + ТВГ, % мас:			
		10%	15 %	20%	25%
Вязкость условная при 80 оС, с	218,5	107,6	77,6	54,7	37,0
Кинематическая вязкость при 80 оС, мм 2/с	5211	2470	1693	1217	881,4
Температура размягчения по кольцу и шару, оС	35,0	-	-	-	-
1. Масла в том числе:	60	65,2	66,8	69,6	72,4
парафино-нафтеновые углеводороды (ПНУ)	8,2	13,2	15,4	18,6	21,8
2. Ароматические углеводороды (АУ):	51,8	52,0	51,4	51,0	50,6
легкие ароматические углеводороды	6,2	7,2	8,4	9,1	9,8
средние ароматические углеводороды	10,2	10,6	11,6	11,2	10,8
тяжелые ароматические углеводороды	35,4	34,2	31,4	30,7	30,0
Смолы (С)	33,8	29,7	27,7	25,6	23,5
Смолы I	11,5	10,5	9,4	8,2	7,0
Смолы II	22,3	19,2	18,3	17,4	16,5
3. Асфальтены (А)	6,2	5,1	5,5	4,8	4,1
Итого:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Рецептуры и материальные балансы производства БНД по ГОСТ 33133- 2014

Рецептуры получения дорожных битумов марок БНД 50/70 и БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014 были разработаны на основе результатов исследований, полученных окислением сырья различного состава (гудрон, ТВГ, ЗМФ) с использованием лабораторного окислительного реактора периодического действия (куб) и лабораторной пилотной установке, различающихся по количеству исходного сырья, подаваемого на окисление.

Рецептуры получения дорожных битумов марок БНД 50/70 и БНД 70/100 по ГОСТ 33133–2014 представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Рецептуры получения дорожных битумов марок БНД 50/70 по ГОСТ 33133-2014

Наименование	Битум марки БНД 50/70		
	Гудрон (ВУ80 – 152 с) с)	Гудрон (ВУ80 – 250 с) с)	Гудрон (ВУ80 – 300 с) с)
Состав сырья:			
Гудрон (ВУ80 – 152 с) с АВТ-4, % мас	73,6-80	-	-
Гудрон (ВУ80 – 250 с) с ЭЛОУ-АТ-6, % мас	-	63,0-69,0	-
Гудрон (ВУ80 – 300 с) с ЭЛОУ-АТ-6, % мас	-	-	58,5-63,0
ЗФ (ВУ80 – 53-75 с), % мас	0-6,4	6,0-7,0	7,0-7,3
ТВГ (ВУ80 – 4,5с), % мас	20	25-30	30,0-34,2
Показатели качества сырья окисления:			
Вязкость условная при 80 о С, с	38-40	29,2-37,0	23,0-36,3
Температура размягчения по кольцу и шару, о С	26,5-27,0	26,0-27,6	25,8-28,0
Параметры окисления:			
Температура окисления, о С	220±5	220±5	220±5

Таблица 4. Рецептуры получения дорожных битумов марок БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014

Наименование	Битум марки БНД 70/100		
	Гудрон (ВУ80 – 152 с)	Гудрон (ВУ80 – 250 с)	Гудрон (ВУ80 – 300 с)
Состав сырья:			
Гудрон (ВУ80 – 152 с) с АВГ-4, % мас	73,6-80	-	-
Гудрон (ВУ80 – 250 с) с ЭЛОУ-АТ-6, % мас	-	63,0-69,0	-
Гудрон (ВУ80 – 300 с) с ЭЛОУ-АТ-6, % мас	-	-	58,0-63,5
ЗФ (ВУ80 – 53-75 с), % мас	0-6,4	6,0-7,0	6,5-7,0
ТВГ (ВУ80 – 4,5с), % мас	20	25-30	30,0-35,0
Показатели качества сырья окисления:			
Вязкость условная при 80 о С, с	38-40	29,2-37,0	23,0-36,3
Температура размягчения по кольцу и шару, о С	26,5-27,0	26,0-27,6	25,8-28,0
Параметры окисления:			
Температура окисления, о С	220±5	220±5	220±5

Выводы

На основе исследуемых физико-химических свойств и компонентного состава гудронов различной вязкости, затемненной фракции и ТВГ подобран оптимальный состав компаундированного сырья производства битумов марок БНД 50/70 и БНД 70/100, в соответствии с требованиями ГОСТ 33133–2014. На лабораторной установке установлена оптимальная температура окисления и подобран состав смеси.

Библиографический список

1. Онгарбаев Е.К. Переработка тяжелых нефтей, нефтяных остатков и отходов [Электронный ресурс] / Е.К. Онгарбаев, Е.О. Досжанов, З.А. Мансуров. — Электрон. текстовые данные. — Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2011. — 256 с.
2. ГОСТ 33133 – 2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования [В Интернете] // Научно-практический информационный ресурс юридической фирмы "Интернет и Право". – 20 май 2017 г.. - <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/59902/>

УДК 66.081.2.069.82

ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА.

А.И. Миронов*, В.В. Коваленко**, М.В. Лызлова***

* Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, ai93mironov@mail.ru

** Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, vikvaskov@mail.ru

*** Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mvlsid@rambler.ru

Аннотация. Рассматриваются абсорбционные схемы углеводородных газов и очистки газов аминовыми растворителями на установке каталитического крекинга

Ключевые слова. Абсорбционные процессы, абсорбционные аппараты, фракционирующий абсорбер, аминовые абсорбенты

THE STUDY OF ADSORPTION PROCESSES OF FCC

A.I. Mironov *, V.V. Kovalenko **, M.V.Lyzlova***

* Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, ai93mironov@mail.ru

** Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, vikvaskov@mail.ru

*** Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, mvlsid@rambler.ru

Summary. Absorbing schemes of hydrocarbonic gases and purification of gases with amine solvents on installation of catalytic cracking are considered

Keywords. Absorbing processes, absorbing devices, the fractioning absorber, amine absorbents

Абсорбционные процессы, основанные на избирательном поглощении одного или нескольких компонентов газовой смеси жидким поглотителем, широко применяются в нефтепереработке для выделения легких углеводородов (сухого газа C_1-C_2 , топливного газа C_1-C_2 и примесей C_3) и для очистки промышленных, попутных и технологических газов от кислых компонентов (H_2S и CO_2). Поглощение газа может происходить либо за счет его растворения в абсорбенте (физическая абсорбция), либо в результате его химического взаимодействия с абсорбентом (химическая абсорбция). Удаление поглощенных газов из абсорбента с целью его дальнейшего использования осуществляется в процессе десорбции. Различие сочетания абсорбционных процессов и свойственные им специфические особенности обусловили применение сравнительно большого числа конструкций аппаратов, абсорберов, среди которых ни один не может считаться универсальным и применяется индивидуально для каждого процесса [1]. В настоящей работе приведена характеристика процессов и аппаратов абсорбции углеводородных газов установки каталитического крекинга АО РНПК.

В процессе каталитического крекинга при высоких температурах в псевдооживленном слое микросферического цеолитсодержащего алюмосиликатного катализатора происходит расщепление углеводородов нефтяных фракций с образованием газообразных продуктов (сероводорода, сухого газа, жирного газа ППФ и ББФ), бензина, легкого и тяжелого каталитического газойля и крекинг остатка. Пары легких газов, бензиновых фракций выводятся с верха фракционирующей колонны (при температуре $\sim 115\div 170^\circ C$ и давлении $1,6\div 2,05$ кгс/см²), охлаждаются (в АВЗ—до $50\div 65^\circ C$, в водяных теплообменниках до $30\div 40^\circ C$) и разделяются на паровую (жирный газ) и жидкую (нестабильный бензин) фазу в газосепараторе. [2,3]

При переработке газов с небольшим количеством легких углеводородов процесс абсорбции – десорбции проводят в одном аппарате – фракционирующем абсорбере, в этом случае верхняя часть аппарата является абсорбером, нижняя - отпарной колонной (рис.1). Процесс абсорбции обычно протекает при низкой температуре ($30-40^\circ C$) и высоком давлении ($10-15$ кгс/см²). Причем для того, чтобы происходил процесс поглощения углеводородов из газа абсорбентом необходимо, чтобы парциальное давление извлекаемого компонента в газовой смеси было выше, чем в жидком абсорбенте. Фракционирующий абсорбер К–2 представляет собой абсорбционно-отпарную колонну и служит для извлечения из поступающих фракций тяжелых углеводородов, начиная с углеводородов C_3 , и вывода «сухого» газа – углеводородов C_1, C_2 .

Газ из газосепаратора с давлением $\sim 10\div 11$ кгс/см² направляется под 26-ую тарелку фракционирующего абсорбера К–2 с расходом, а жидкая фаза – легкий углеводородный конденсат одним из насосов откачивается под 21-ую тарелку К–2. Абсорбентом в К–2 является стабильный бензин из дебутанизатора К–6, подаваемый насосами на 42-ую тарелку К–2 в постоянном количестве. На 39-ую тарелку К-2 насосам подается нестабильный бензин из Е–3. Нестабильный бензин из Е–3 так же частично является абсорбентом ввиду содержания в нем фракций выше C_4 до 80%, поэтому подается меньшее количество абсорбента от теоретически необходимого. С 3-ей, 4-ой и 25-ой тарелок К–2 выводится с постоянным расходом

водяной конденсат. С 15-ой тарелки К-2 вывод водяного конденсата производится по уровню.

Для извлечения бензиновых фракций из отходящего с верха К-2 сухого газа служит повторный абсорбер К-3. Абсорбентом в К-3 является часть II циркуляционного орошения К-1, которая после охлаждения в теплообменниках и воздушных холодильниках, подается на верхнюю трапецевидную тарелку колонны. По уровню в кубе К-3 абсорбент выводится из колонны, нагревается в теплообменнике до $\sim 150^{\circ}\text{C}$ конденсатом водяного пара, отходящего из ребойлеров, и затем поступает в линию II-го циркуляционного орошения после теплообменников, где смешивается с основным потоком и возвращается на 13-ую тарелку колонны К-1. Сухой газ поступает под 1-ую тарелку К-3. Сухой газ может направляться в заводские коллектора топливного газа: очищенного сухого газа, неочищенного сухого газа и в линию газа к котельной.

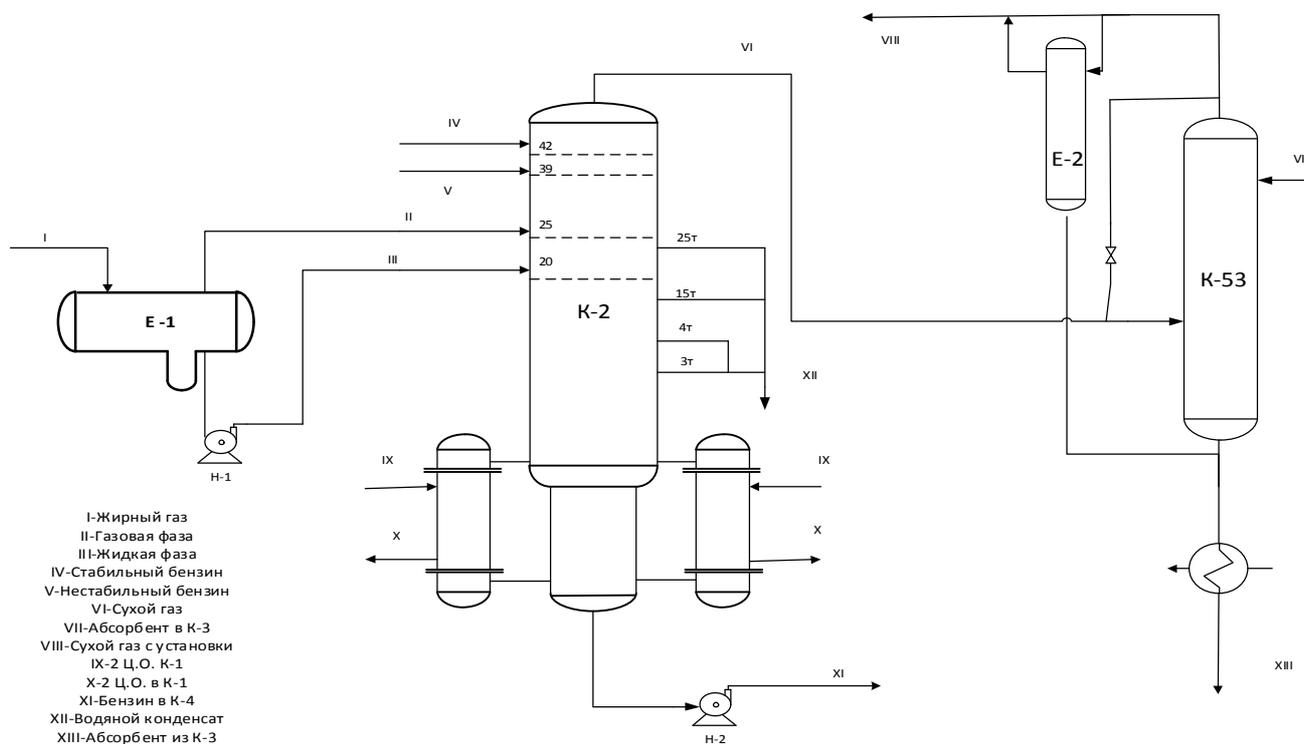


Рис. 1. Схема фракционирующего абсорбера

Фракционирующий абсорбер работает при температуре $T_{\text{раб.}}=50-120^{\circ}\text{C}$ и давлении $P_{\text{раб.}}=11,0 \text{ кгс/см}^2$, диаметр- $D=3200/3000\text{мм}$, высота - $H=41110 \text{ мм}$. По характеру взаимодействия газа и жидкости абсорбер относится к барботажным колоннам с клапанными трапецевидными тарелками – 44 шт., из которых 19 двух- и 25 трехпоточных. Повторный абсорбер $D=1200\text{мм}$, $H=16495 \text{ мм}$, $P_{\text{раб.}}=10,0 \text{ кгс/см}^2$, $T_{\text{раб.}}=50^{\circ}\text{C}$. Тарелки клапанные трапецевидные.

Режим работы фракционирующего и повторного абсорберов.

	Температура, $^{\circ}\text{C}$		Давление, кгс/см^2	
	К-2	К-3	К-2	К-3
Верх	35÷50	35÷45	10,0	9
Середина	60÷75		-	-
Куб	95÷110	35÷45	10,5	9

Жирный газ из газосепаратора также поступает во фракционирующий абсорбер, но только после сероочистки и компремирования. Сероводород является кислым компонентом, вызывающим коррозию оборудования. Поэтому удаление сероводорода и углекислого газа из жирного газа необходимо и осуществляется водным раствором амина – 12-15% раствором моноэтаноламина (МЭА) или 50% раствором метилдиэтаноламина (МДЭА) в абсорбере К–8 (рис.2). Регенерация насыщенного кислыми газами раствора амина может проводится на блоке сероочистки установки каталитического крекинга или на блоке утилизации установки гидроочистки вакуумного газойля. Смесь сероводорода, углекислого газа и воды с верха К–9 через газосепаратор Е–6 в виде сероводородного газа выводится с установки на установки производства серной кислоты.

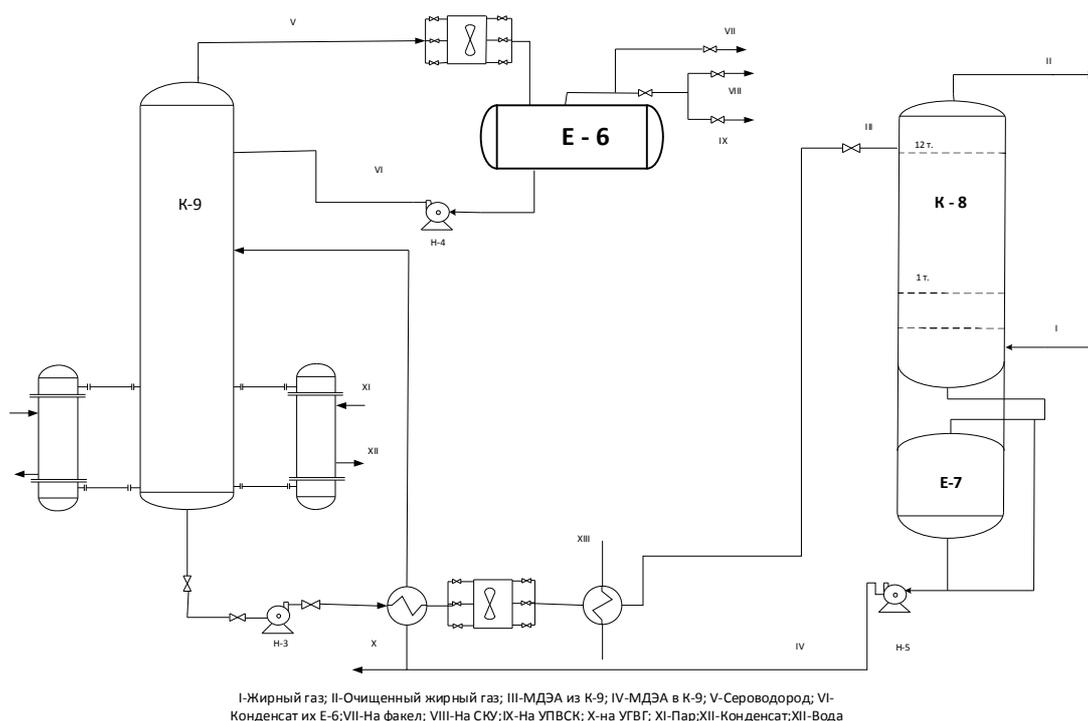
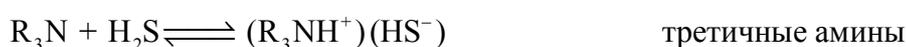
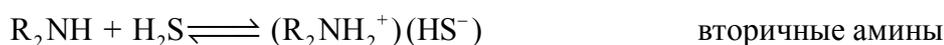
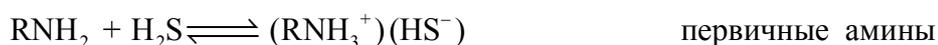


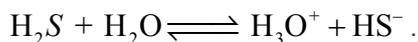
Рис. 2. Схема абсорбера сероочистки жирного газа

Абсорбер сероочистки жирного газа в единой обечайке имеет абсорбер и емкость насыщенного раствора амина. Диаметр - $D=3000\text{мм}$, высота абсорбера - $H_{\text{ц.ч.К-89}}=16000\text{мм}$, общая высота колонны - $H_{\text{общ.}}=31160$, давление в колонне $P_{\text{раб.}}=2,05\text{ кгс/см}^2$, температура в колонне $T_{\text{раб.}}=55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Массообменные процессы абсорбции протекают на поверхности контакта фаз – центробежных тарелках – 12 шт., в слое упорядоченной насадки.

Извлечение кислых газов основано на химическом взаимодействии абсорбента с сероводородом и углекислым газом. Реакции, протекающие на границе жидкой (водной) и газовой фаз, описываются уравнениями [4]:



В растворе сероводород диссоциирует, в результате чего могут образовываться гидратные комплексы различной степени устойчивости, влияющими на кислотно-основное взаимодействие растворителя и растворенного вещества:



Амины, являясь сильными нуклеофилами, способны достаточно легко взаимодействовать с молекулами электрофилов (образованием донорно-акцепторных комплексов, в которых амин выступает в качестве донора, а сероводород – акцептора). Нуклеофильность определяет кинетические свойства растворителей (скорость реакции в зависимости от вида амина и стерических эффектов, препятствующих осуществлению взаимодействия). Прямой корреляции между основными свойствами и нуклеофильностью аминовых растворителей не существует, так менее основные амины могут проявлять более сильные нуклеофильные свойства.

В связи с этим при выборе как подходящего процесса очистки газа, так и необходимого растворителя, нужно проанализировать экономические показатели, зависящие от различных факторов: требуемой степени очистки, состава и параметров сырьевого газа, областей применения товарного газа, параметров энергоресурсов, отходов производства, величин растворимости и расхода газа при абсорбции, регенерации (десорбции), химического взаимодействия, циркуляции растворителя между абсорбером и десорбером. При извлечении кислых компонентов возможно протекание ряда побочных процессов с участием двуокиси углерода, кислорода, сернистых соединений, материала аппаратуры и др. Обычно скорость таких побочных реакций сравнительно мала по отношению к скоростям основных реакций. С другой стороны, при долговременной циркуляции раствора, в системе начинают накапливаться побочные вещества. Это заметно ухудшает очистку, приводит к коррозии и забиванию оборудования, потери абсорбента, уменьшению коэффициентов массо- и теплопередачи, приводящих к росту расхода тепла. Изменение технологических параметров таких, как давление и температура может привести либо к уносу абсорбента с очищенным газом, либо к снижению показателей качества очищенных газов.

В заключении хочется отметить, что проведенный анализ работы абсорбционных аппаратов позволил определить основные направления совершенствования процессов: достижение максимального извлечения газов $\text{C}_4\text{-C}_5$ из сухого газа состава: H_2 -0,68, метан -16,18, этилен -16,2, пропилен – 8,11, пропан -2,74; изобутан -1,80; норм бутан -0,24; сумма бутиленов -1,18; сумма пентанов- 6,65; оксид углерода -0,57; диоксид углерода -2,56; кислород -0,28; азот -19,02; сероводород -0,04 за счет использования в качестве абсорбента фракции 120-340 °С (нк-120 °С, 10% -234 °С, 50% -279 °С, 90%-317 °С, кк-336 °С, выход 98); выбор оптимальных абсорбентов аминовой очистки; подбор методики поверочного расчета абсорбционных аппаратов тарельчатого и насадочного типов.

Библиографический список

1. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. –М.: Химия, 1981. – 812 с.
2. Смидович, Е.В. Технология переработки нефти и газа. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов : учеб. - 4-е изд., стер. - М. : Альянс, 2011. - 328с.
3. Агабеков В.Е., Косяков В.К. Нефть и газ: технологии и продукты переработки.- Ростов н/Дону.: Феникс, 2014.-458 с.
4. Просочкина Т.Р. Моделирование межмолекулярных взаимодействий в различных фазах некоторых нефтехимических процессов. 02.00.13 – Нефтехимия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. – Москва, 2013 -397 с.

УДК 665.6.7; ГРНТИ 61.51.21

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ПРОГРАММЕ SMATH STUDIO

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, К.А. Ветшев, А.Д. Рубцова

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрено решение прямой задачи химической кинетики средствами программы SMathStudio. На примере гомогенной реакции составлены кинетические уравнения, определены концентрации исходных веществ и продуктов реакции, построены кинетические кривые и кривые скорости реакции по компонентам.

Ключевые слова. Кинетика химических реакций, кинетическое уравнение, скорость реакции, концентрация вещества, закон действующих масс, система дифференциальных уравнений, кинетические кривые.

ANALYSIS OF THE KINETICS OF CHEMICAL REACTIONS IN THE PROGRAM SMATH STUDIO

V.V. Kovalenko, N.U. Kulavina, G.A. Shashkina, K.A. Vetshev, A.D. Rubtsova

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru

Abstract. In this paper the solution of the direct problem of chemical kinetics by means of SMathStudio program is considered. On the example of homogeneous reaction kinetic equations are made, concentrations of initial substances and reaction products are found, kinetic curves and curves of reaction rate of components are constructed.

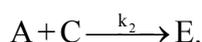
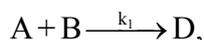
Keywords. Kinetics of chemical reactions, kinetic equation, reaction rate, substance concentration, the law of acting masses, the system of differential equations, kinetic curves.

В настоящее время большой теоретический и практический интерес имеет изучение механизмов химических реакций. Значительное место в их исследовании занимает химическая кинетика, которая применяется при расчете химического оборудования, при создании новых и совершенствовании существующих технологических процессов.

Исследования химической кинетики осуществляются экспериментальными и теоретическими методами. Перспективным направлением исследований является моделирование. Особенно это целесообразно в учебном процессе при изучении механизма химических реакций. Основой математического моделирования химических реакций является кинетическая модель.

Данная работа посвящена разработке методических рекомендаций для исследования гомогенных химических реакций в программе SMath Studio.

Выполним анализ химической кинетики для кинетической схемы гомогенной реакции, где А, В, С, D, Е – вещества, участвующие в химической реакции; k_1 и k_2 – константы скоростей соответствующих реакций.



Константы скоростей реакций могут определяться экспериментально или теоретически, например, по уравнению Аррениуса [1]:

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (1)$$

где А – предэкспоненциальный множитель, характеризующий частоту столкновений реагирующих молекул;

R - универсальная газовая постоянная;

T- температура;

E_a - энергия активации.

Из формулы (1) следует, что константа скорости реакции зависит от температуры реагентов и их свойств. В соответствии с законом действующих масс [1] составляются кинетические уравнения [2] по компонентам А, В, С, D и Е. В результате формируется математическая модель химической реакции в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений для решения прямой задачи химической кинетики:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A C_B - k_2 C_A C_C; \\ \frac{dC_B}{dt} = -k_1 C_A C_B; \\ \frac{dC_C}{dt} = -k_2 C_A C_C; \\ \frac{dC_D}{dt} = -k_1 C_A C_B; \\ \frac{dC_E}{dt} = -k_2 C_A C_C. \end{cases}$$

Здесь C_A , C_B , C_C , C_D и C_E – концентрации соответствующих веществ. Данные уравнения отражают изменение концентрации веществ во времени в ходе химического превращения.

Дифференциальные уравнения могут быть решены аналитическими или численными методами. В данной работе применяется численный метод Рунге-Кутты 4-го порядка, который реализован в программе SMath Studio с помощью функции `rkfixed`. Для функции задаются параметры: вектор-столбец начальных концентраций компонентов, временной интервал, количество итераций и вектор правых частей системы дифференциальных уравнений.

При анализе математической модели реакции имеется возможность изменять начальные значения концентраций компонентов и температуры, от которой зависят константы скорости реакции (1). Результат решения системы дифференциальных уравнений получен при следующих начальных условиях концентраций веществ: $C_A = 0,5$ моль/см³, $C_B = 0,3$ моль/см³, $C_C = 0,1$ моль/см³, $C_D = 0$ моль/см³ и $C_E = 0,4$ моль/см³, констант скоростей реакций $k_1 = 0,8$ мин⁻¹, $k_2 = 0,5$ мин⁻¹ и формируется в виде матрицы:

$f = \text{rkfixed} \left(\begin{bmatrix} 0,5 \\ 0,3 \\ 0,1 \\ 0 \\ 0,4 \end{bmatrix}; t_0; t_k; n; \begin{bmatrix} -k_1 \cdot C_1 \cdot C_2 - k_2 \cdot C_1 \cdot C_3 \\ -k_1 \cdot C_1 \cdot C_2 \\ -k_2 \cdot C_1 \cdot C_3 \\ k_1 \cdot C_1 \cdot C_2 \\ k_2 \cdot C_1 \cdot C_3 \end{bmatrix} \right)$	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0,5</td><td>0,3</td><td>0,1</td><td>0</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0,3912</td><td>0,2109</td><td>0,0802</td><td>0,0891</td><td>0,4198</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,3258</td><td>0,1587</td><td>0,0672</td><td>0,1413</td><td>0,4328</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,2823</td><td>0,1245</td><td>0,0577</td><td>0,1755</td><td>0,4423</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,2512</td><td>0,1007</td><td>0,0505</td><td>0,1993</td><td>0,4495</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,228</td><td>0,0831</td><td>0,0448</td><td>0,2169</td><td>0,4552</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,21</td><td>0,0698</td><td>0,0402</td><td>0,2302</td><td>0,4598</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,1957</td><td>0,0594</td><td>0,0363</td><td>0,2406</td><td>0,4637</td></tr> <tr><td>8</td><td>0,184</td><td>0,051</td><td>0,033</td><td>0,249</td><td>0,467</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,1744</td><td>0,0442</td><td>0,0302</td><td>0,2558</td><td>0,4698</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,1663</td><td>0,0386</td><td>0,0277</td><td>0,2614</td><td>0,4723</td></tr> <tr><td>11</td><td>0,1594</td><td>0,0339</td><td>0,0256</td><td>0,2661</td><td>0,4744</td></tr> <tr><td>12</td><td>0,1535</td><td>0,0299</td><td>0,0237</td><td>0,2701</td><td>0,4763</td></tr> <tr><td>13</td><td>0,1484</td><td>0,0265</td><td>0,0219</td><td>0,2735</td><td>0,4781</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>⋮</td><td></td></tr> </table>	0	0,5	0,3	0,1	0	0,4	1	0,3912	0,2109	0,0802	0,0891	0,4198	2	0,3258	0,1587	0,0672	0,1413	0,4328	3	0,2823	0,1245	0,0577	0,1755	0,4423	4	0,2512	0,1007	0,0505	0,1993	0,4495	5	0,228	0,0831	0,0448	0,2169	0,4552	6	0,21	0,0698	0,0402	0,2302	0,4598	7	0,1957	0,0594	0,0363	0,2406	0,4637	8	0,184	0,051	0,033	0,249	0,467	9	0,1744	0,0442	0,0302	0,2558	0,4698	10	0,1663	0,0386	0,0277	0,2614	0,4723	11	0,1594	0,0339	0,0256	0,2661	0,4744	12	0,1535	0,0299	0,0237	0,2701	0,4763	13	0,1484	0,0265	0,0219	0,2735	0,4781					⋮	
0	0,5	0,3	0,1	0	0,4																																																																																						
1	0,3912	0,2109	0,0802	0,0891	0,4198																																																																																						
2	0,3258	0,1587	0,0672	0,1413	0,4328																																																																																						
3	0,2823	0,1245	0,0577	0,1755	0,4423																																																																																						
4	0,2512	0,1007	0,0505	0,1993	0,4495																																																																																						
5	0,228	0,0831	0,0448	0,2169	0,4552																																																																																						
6	0,21	0,0698	0,0402	0,2302	0,4598																																																																																						
7	0,1957	0,0594	0,0363	0,2406	0,4637																																																																																						
8	0,184	0,051	0,033	0,249	0,467																																																																																						
9	0,1744	0,0442	0,0302	0,2558	0,4698																																																																																						
10	0,1663	0,0386	0,0277	0,2614	0,4723																																																																																						
11	0,1594	0,0339	0,0256	0,2661	0,4744																																																																																						
12	0,1535	0,0299	0,0237	0,2701	0,4763																																																																																						
13	0,1484	0,0265	0,0219	0,2735	0,4781																																																																																						
				⋮																																																																																							

Первый столбец матрицы результатов содержит время с заданным шагом, столбцы матрицы со второго по шестой - значения концентраций компонентов А, В, С, D, Е соответственно для каждого шага. По полученным результатам строятся кинетические кривые для исходных веществ и продуктов реакции (рис. 1).

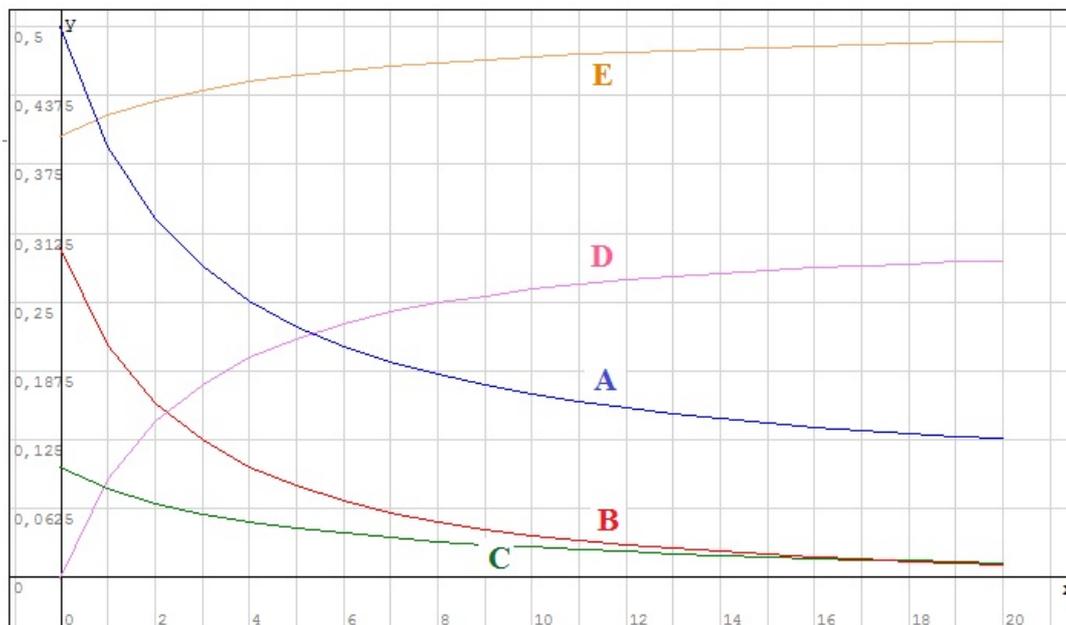


Рис. 1. Графики зависимости концентраций компонентов от времени

По математической модели химической реакции построены графики скоростей изменения концентраций компонентов (рис. 2).

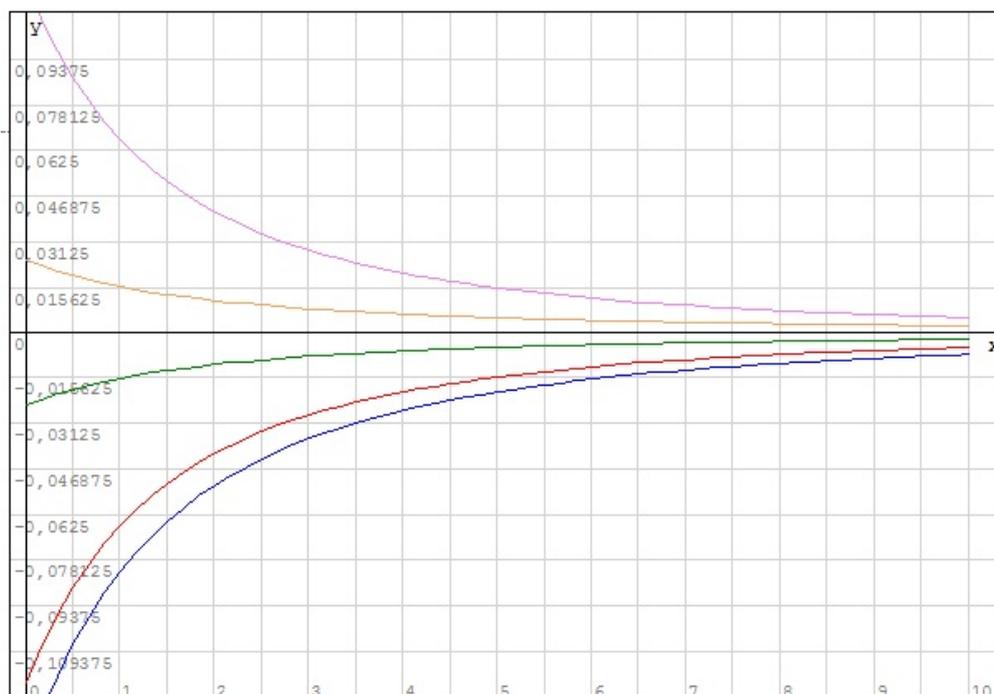


Рис. 2. Графики скоростей изменения концентраций компонентов

Предложенная методика выполнения анализа кинетики химических реакций может быть использована в учебном процессе по соответствующим дисциплинам.

Библиографический список

1. Холохонова Л.И. Кинетика химических реакций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.И. Холохонова, Е.В. Короткая. — Электрон. текстовые данные. — Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006. — 80 с. — 5-89289-407-X. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14367.html>.
2. Булидорова Г.В. Кинетика сложных реакций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Булидорова, К.А. Романова, Ю.Г. Галяметдинов. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. — 88 с. — 978-5-7882-1919-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62180.html>.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018»	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»	5
Секция «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»	5
Т. Шестакова, Г. Сорокин Передающее устройство для БПЛА на основе прямой цифровой модуляции несущей.....	5
Горюшкин Р.С. Реализация цифрового БИХ-фильтра на ПЛИС средствами языка PYTHON.....	12
Панарина А. Детектирование препятствий и передача сообщений в системах содействия водителю.....	16
Филатов А.В. Обзор методов совместного кодирования источника и канала.....	20
Витязев С.В., Минаков В.А. Разработка алгоритма обработки радиолокационной информации для многопроцессорных систем	22
Рыбаков Д. Исследование методов псевдослучайной перестройки рабочей частоты в системах широкополосной цифровой радиосвязи.....	26
Секция «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ»	31
Пруцков А.В. Использование возможностей текстового процессора MICROSOFT WORD при написании научных работ	31
Овчинников Р.В., Костров В.В. Эффект наложения при дискретизации непрерывных сигналов	34
Абрамов Г.В., Коробова Л.А., Матыцина И.А. Обоснование и анализ выбора ширины окна спектрограммы для распознавания звуковых сигналов кашля.....	40
Ломакина О.А., Кабанов А.Н., Дорошина Н.В. Формирование области согласия при многокритериальном анализе и принятии решений с учетом отбора однородных групп экспертов.....	43
Акимов Д.О., Яблочников С.Л. Обеспечение адекватности прогнозирования потребления электроэнергии с помощью нейронных сетей	47
Храмшина Е.О. Информационная система для обработки баз данных большого объема.....	52
Яровенко Л.В., Коваленко В.В. К вопросу об интеграции информационных систем с использованием процессного подхода.....	56
Ивкина М.С. Решение задачи классификации на основе случайного леса	61

Мадибрагимов Н.

Компьютерные модели формообразования слов и их применение для описания морфологии таджикского языка..... 65

Демидова Л.А., Егин М.М.

Использование классификатора на основе окна Парзена для повышения качества SVM-классификации..... 68

Усачев П.

Решение задачи классификации на основе алгоритмов дерева принятия решений 73

Брянцев А.А., Курылева В.К.

Автоматизация предприятий среднего бизнеса средствами популярных ERP-систем..... 76

Секция «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»..... 81**Ковалева О.А., Хлебников В.В., Лазарев С.И.**

Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа..... 81

Агаев М.Д., Стрючкова Ю.М.

Сравнительный анализ методов определения серосодержащих соединений нефти, основанных на окислении серы..... 86

Афанасьев Д.В.

Химические возможности синтеза этил-трет-бутилового эфира..... 89

Глебов Д.А., Шуварилова Т.П.

Анализ взаимного влияния присадок, вовлекаемых в приготовление зимнего дизельного топлива на качество товарной продукции..... 93

Сычев М.

Оценка эффективности депрессорно-диспергирующих присадок отечественных и зарубежных производителей..... 96

Соленов В., Коваленко В.

Исследование технологий производства базового масла гидрокрекингом остаточного нефтяного сырья на АО «РНПК»..... 100

Михалев С.

Модернизация схемы нагрева вакуумного газойля на установке гидроочистки вакуумного газойля АО «РНПК»..... 103

Игумнов П.

Перспективы применения установок гидрокрекинга для производства масел в России..... 107

Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Мельников Д.В., Синев И.И.

Моделирование процесса получения диэтилового эфира из этанола и воды в программе COSMO..... 110

Керимова М.Э., Редичева Т.В., Коваленко В.В., Лызлова М.В.

Исследование фракционного и группового состава бензинов методом капиллярной газовой хроматографии..... 114

Гришина А.А., Байдавлетов З.М.

Использование поточных рентгенофлуоресцентных анализаторов при анализе серы в бензинах каталитического крекинга..... 120

Жорниченко А.А., Ширяев А.А.

Исследование ароматических систем в нефтепереработке..... 125

Самылкин А.Р.

Получение низкооктановых топлив из высокооктановых топлив..... 130

Кобозева Е.Ю.

Исследование прогрессивных методов электролитического хромирования с целью повышения износостойкости деталей оборудования..... 133

Зубкова Е.В., Ширяев А.А.

Мониторинг окружающей среды санитарно-защитной зоны АО "РНПК" 137

Шалыгина Е.М., Ширяев А.А.

Гидроочистка и депарафинизация дизельного топлива..... 141

Фокин П.А.

Оптимизация схемы аварийной продувки реакторов изомеризации 02-р-2а, 02-р-2б.....145

Лебедев Я.Э.

Исследование комплексной переработки тяжелых нефтяных остатков.....148

Мионов А.И., Коваленко В.В., Лызлова М.В.

Исследование абсорбционных процессов установки каталитического крекинга..... 152

Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Ветшев К.А., Рубцова А.Д.

Анализ кинетики химических реакций в программе SMATH STUDIO..... 157

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 3

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.18. Формат 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 18.

Тираж 100 экз. Заказ № 3334.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.
Отпечатано в типографии Book Jet,
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18