

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2019

**II МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 3

Рязань
Book Jet
2019

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

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019 [текст]: сб. тр. II междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2019; Рязань. – 142 с.,: ил.

Сборник включает труды участников II Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019.

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 978-5-7722-0301-9

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2019
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2019

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2019

II Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019 состоялся 27.02.2019-01.03.2019 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете.

В рамках II Международного форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019 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 нанoeлектроника;
- 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:

Авилкина С.В., к.п.н., доцент кафедры «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Алпатов Б.А., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

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

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

Евдокимова Е.Н., д.э.н., проф., декан Инженерно-экономического факультета; зав. кафедрой «Экономика, менеджмент и организация производства»;

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

Ерзылева А.А., к.э.н., доцент кафедры «Экономика и финансовый менеджмент»;

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

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

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

Кириллов С.Н., д.т.н., проф., зав. кафедрой "Радиоправление и связь";

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

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

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

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

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

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

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

Куприна О.Г., к.п.н., доцент кафедры Иностранных языков;

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

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

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

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

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

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

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

Рохлина Т.А., к.филол.н., доцент кафедры Иностранных языков;

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

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

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

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

Чеглакова С.Г., д.э.н, проф., зав. 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 621.396.931; ГРНТИ 49.03.05

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВИДА МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

И.С. Александров

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, ilya.konishchev@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается сравнение видов модуляции для систем передвигной радиосвязи. Приводятся их основные особенности, достоинства и недостатки, а также приводятся основные параметры, как критерии оптимизации.

Ключевые слова: модуляция, радиосвязь, фазовая модуляция, квадратурная модуляция.

OPTIMIZATION OF THE SELECTION OF MODULATION TYPE FOR DIGITAL MOBILE RADIO COMMUNICATION SYSTEM

I.S. Alexandrov

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

The summary. The paper discusses the comparison of modulation types for mobile radio communications systems. Given their main features, advantages and disadvantages, as well as the main parameters, as optimization criteria.

Keywords: modulation, radio communication, phase shift keying, quadrature amplitude modulation.

В наше время наблюдается тенденция к активному освоению телекоммуникационной отрасли. Это приводит к тому, что при разработке новых подвижных систем с радиодоступом возникает ряд определённых проблем. Электромагнитная обстановка во всем спектре радиочастот постоянно усложняется и новым радиосистемам приходится работать в условиях интенсивного воздействия внешних помех.

Виды модуляции

В наши дни в сфере передачи цифровой информации широкое распространение получили методы модуляции, основанные на изменении фазы несущего колебания, а также комбинированные методы, когда одновременно изменяется и амплитуда и фаза несущего колебания. Первую группу методов объединяют под названием фазовая модуляция (PSK — (англ.) *phaseshiftkeying*), вторую же принято называть квадратурной модуляцией (QAM — (англ.) *quadratureamplitudemodulation*). Среди основных типов модуляции можно выделить следующие: BPSK (*binaryphaseshiftkeying* — двухпозиционная фазовая модуляция), QPSK (*quadraturephaseshiftkeying* — квадратурная (4х позиционная) фазовая модуляция), 16QAM, 64QAM, 256QAM (соответственно: 16-, 64- и 256-позиционная квадратурная модуляция). Чем выше позиционность модуляции, тем выше её спектральная эффективность, но ниже помехоустойчивость (при равных энергетических параметрах) [1].

Сравнение видов модуляции

Для сравнения остановимся на двух распространенных типах модуляции: 16PSK и 16QAM. В первую очередь отметим, что оба типа модуляции имеют одинаковую спектральную эффективность. Спектр сигнала 16QAM содержит один главный лепесток, что соответствует модуляции амплитуд сразу двух компонент несущего колебания, сдвинутых друг относительно друга на угол $\pi/2$. Поэтому для использования 16QAM высокочастотные тракты должны быть максимально линейными. Энергетические показатели данного вида модуляции гораздо хуже, чем модуляции с постоянной амплитудой огибающей. В то же время постоянство амплитуды сигнала с модуляцией 16PSK является важным преимуществом такого вида модуляции, поскольку в этом случае высокочастотные цепи передатчика и приемника могут работать в существенно нелинейных режимах, а это в свою очередь позволяет повысить КПД и максимальную выходную мощность передатчика.

Следующим важным критерием выбора типа модуляции является помехоустойчивость.

Выполним оценку помехоустойчивости для выбранных видов модуляции. Оценка выполним путем определения максимального расстояния между точками созвездия — $d_{\min}$, выраженного через среднюю энергию, приходящуюся на один бит сообщения.

Вычислим $d_{\min}$ для 16PSK. Для этого рассмотрим переданный сигнал, как точку в прямоугольной системе координат. Совокупность таких точек, соответствующих всем возможным состояниям сигнала называют созвездием сигнала. Оно и позволит нам определить характеристики видов модуляции. На рисунке 1 изображены созвездия сигналов с модуляцией 16PSK (слева) 16QAM (справа). Величина битовой ошибки зависит от дистанции между соседними точками созвездия сигнала.

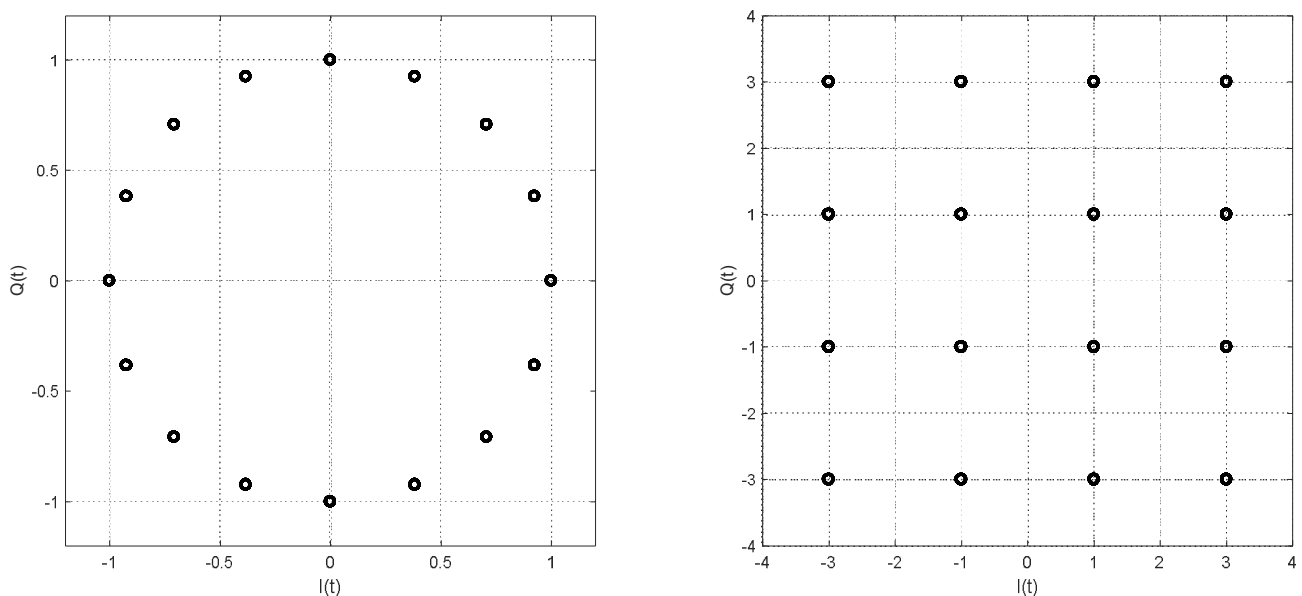


Рис. 1. Сигнальные созвездия сигналов с 16PSK-модуляцией (слева)
16QAM-модуляцией (справа)

Минимальное расстояние между точками созвездия для 16PSK можно вычислить по формуле:

$$d_{\min} = d \cdot \sqrt{E_b}$$

где d — минимальное геометрическое расстояние между точками созвездия;

E_b — энергия одного бита сигнала.

Для приведенного на рисунке 1 созвездия 16PSK[1, 2]:

$$d_{min} = 0,79 \cdot \sqrt{E_b}.$$

Проведем аналогичный расчет для случая использования 16QAM. Как уже было сказано (и как можно убедиться по рисунку 1) сигнал с квадратурной модуляцией состоит из, по сути, двух независимых сигналов, амплитуды которых содержат информацию о передаваемом сообщении. То есть в данном случае мы можем определить только среднюю энергию одного передаваемого бита. Проведя аналогичный расчет, получим, что:

$$d_{min} = 1,265 \cdot \sqrt{E_b}.$$

Вычислив соотношение полученных величин получим, что помехоустойчивость 16QAM в 1,6 раза выше, чем 16PSK. Таким образом при одинаковой полосе 16QAM имеет помехоустойчивость выше, чем 16PSK.

Заключение

Проведя сравнительный анализ двух типов модуляции можно сделать основной вывод: применение 16PSK целесообразно в тех системах, которые не имеют жестких ограничений по потребляемой энергии и при распространении сигналов в каналах сравнительно небольшой длины. В свою очередь 16QAM является более помехоустойчивым видом модуляции, позволяющим передавать информацию на более дальние расстояния. Но в свою очередь — предъявляя высокие требования к линейности трактов передатчика и приемника.

Библиографический список

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов [Книга]. - СПб : "Питер", 2003.
2. Оппенгейм А. В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / Под ред. С. Я. Шаца. - М.: Связь, 1979.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.49

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕРСНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ С ФАЗО-КОДОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

Д.В. Валуйский, С.В. Витязев

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, valuyskiy.d.v@tor.rsreu.ru, vityazev.s.v@tor.rsreu.ru

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм инверсной фильтрации, применяемой для подавления боковых лепестков при приеме фазокодоманипулированных сигналов. Приводятся результаты моделирования инверсного фильтра для сигналов, манипулированных кодами Баркера различной длины.

Ключевые слова: подавление боковых лепестков, инверсная фильтрация, фазо-кодовая манипуляция, коды Баркера.

MODELING OF INVERSE FILTRATION FOR PROCESSING OF SIGNALS WITH PHASE-CODE MANIPULATION

D.V. Valuyskiy, S.V. Vityazev

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, valuyskiy.d.v@tor.rsreu.ru, vityazev.s.v@tor.rsreu.ru

The summary. The paper discusses the inverse filtering algorithm used to suppress side lobes when receiving phase-code manipulated signals. The results of simulation of an inverse filter for signals manipulated by Barker codes of various lengths are presented.

Keywords: side-lobe suppression, inverse filtering, phase-code manipulation, Barker codes.

Существенной проблемой при разработке радиолокационных устройств, а также ультразвуковых локаторов, является задача подавления боковых лепестков принимаемых эхо-сигналов. Высокий уровень боковых лепестков может привести к невозможности разделения двух близкорасположенных целей, кроме того, при достаточно высоком уровне шума недостаточное подавление боковых лепестков эхо-сигнала может привести к тому, что результат сложения бокового лепестка и шума будет по уровню близок к уровню сигнала. При пороговой обработке эхо-сигнала это может привести к детектированию ложных целей [1]. Одним из способов решения задачи подавления боковых лепестков, рассмотренным в [2], является использование нерекурсивного фильтра, расположенного сразу после фильтра, согласованного с излучаемым сигналом. В [3] был предложен способ улучшения данного метода путем оптимизации коэффициентов нерекурсивного фильтра. Следующим шагом стала разработка инверсного фильтра [4], позволяющего практически полностью подавить боковые лепестки при приеме сигналов. Следует заметить, что алгоритм инверсной фильтрации применим только для сигналов с фазовой кодовой манипуляцией, представляющих собой несущую, фаза которой манипулирована определенным образом выбранной кодовой последовательностью. Чаще всего применяют сигналы с двоичной фазовой манипуляцией, описанные в ряде работ [5-7]. В данной работе для моделирования алгоритма инверсной фильтрации применяются сигналы с фазовой кодовой манипуляцией кодами Баркера.

Математическое описание алгоритма инверсной фильтрации

Двоичный код Баркера предстает собой знакопередающийся код. Так как данный код является дискретным по времени, для его обработки можно использовать Z-преобразование. Найдем Z-преобразование для кода Баркера длины n , представим его в виде выражения (1):

$$C(z) = c_0 + c_1 \cdot z^{-1} + c_2 \cdot z^{-2} + \dots + c_n \cdot z^{-(n-1)} = \sum_{k=0}^{n-1} c_k \cdot z^{-k}, \quad (1)$$

где c_k – коэффициенты кода Баркера.

В таком случае передаточная функция инверсного фильтра может быть определена выражением (2):

$$H(z) = C^{-1}(z) = \frac{1}{c_0 + c_1 \cdot z^{-1} + c_2 \cdot z^{-2} + \dots + c_n \cdot z^{-(n-1)}}. \quad (2)$$

Следует заметить, что для реализации инверсного фильтра необходимо выполнение условия стабильности фильтра, то есть все его полюса должны лежать в пределах единичной окружности. Как следует из выражения (2), для выполнения этого условия необходимо, чтобы все корни полинома, представленного в выражении (1), описывающего выбранный двоичный код, также лежали в пределах единичной окружности. Исследования показывают, что

для кодов Баркера гарантировать выполнение такого условия невозможно. Например, на рисунке 1 представлено расположение на Z -плоскости корней полинома, описывающего код Баркера длительностью 5 импульсов.

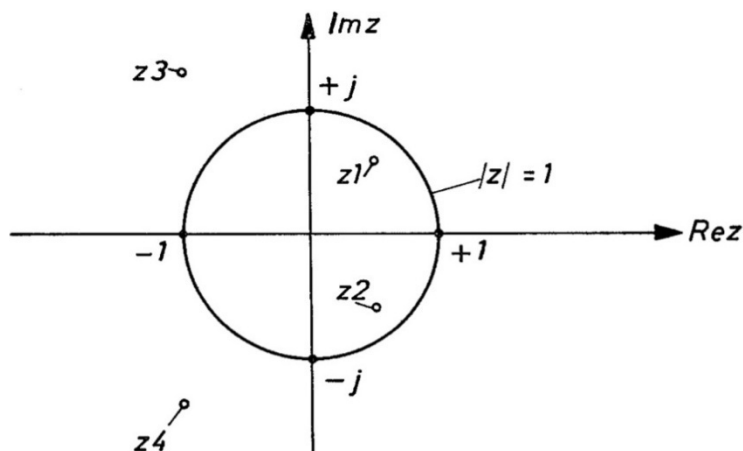


Рис. 1. Корни полинома, описывающего код Баркера длительностью 5 импульсов

Как видно из рисунка 1, корни полинома, описывающего код Баркера, могут находиться как внутри, так и вне единичной окружности на Z -плоскости. Следовательно, становится невозможным обеспечить устойчивость фильтра, передаточная функция которого описывается выражением (2).

Для решения возникшей проблемы предлагается разделить Z -преобразование кодовой последовательности Баркера на две части, как показано в выражении (3):

$$C(z) = P(z) \cdot Q(z), \quad (3)$$

где $P(z)$ – полином, m корней которого лежат внутри единичной окружности, а $Q(z)$ – полином, $n-m$ корней которого лежат вне единичной окружности. Тогда полиномы $P(z)$ и $Q(z)$ можно представить в виде, показанном в выражениях (4) и (5).

$$P(z) = 1 + p_1 \cdot z^{-1} + \dots + p_m \cdot z^{-m}, \quad (4)$$

$$Q(z) = 1 + q_1 \cdot z^{-1} + \dots + q_{n-m-1} \cdot z^{-(n-m-1)}. \quad (5)$$

Тогда, с учетом вышесказанного, инверсный фильтр можно реализовать по схеме, представленной на рисунке 2.

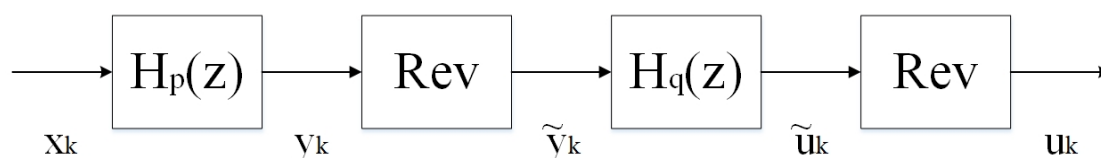


Рис. 2. Структурная схема инверсного фильтра

На рисунке 2 блоки «Rev» обозначают инверсию сигнала во временной области, блоки $H_p(z)$ и $H_q(z)$ обозначают рекурсивные фильтры, передаточные функции которых соответствуют «стабильному» и «нестабильному» полиномам $P(z)$ и $Q(z)$. Передаточные функции этих фильтров описываются выражениями (6) и (7) соответственно.

$$H_p(z) = \frac{1}{P(z)} = \frac{1}{1 + p_1 \cdot z^{-1} + \dots + p_m \cdot z^{-m}}, \quad (6)$$

$$H_q(z) = \frac{1}{Q(\frac{1}{z})} = \frac{1}{q_{n-m-1} + q_{n-m-2} \cdot z^{-1} + \dots + q_1 \cdot z^{-(n-m-2)} + z^{-(n-m-1)}}. \quad (7)$$

Согласно рисунку 2, алгоритм инверсной фильтрации заключается в последовательной обработке ФКМ-сигнала сначала фильтром для стабильных корней полинома, описывающего используемый код, затем, после временной инверсии сигнала, фильтром для нестабильных корней полинома. Снова проинвертированный во временной области сигнал является выходным сигналом фильтра с существенным уровнем подавления боковых лепестков. Математически этот алгоритм описывается выражениями (8-11).

$$Y(z) = X(z) \cdot H_p(z) = \sum_{k=0}^{N-1} y_k \cdot z^{-k}, \quad (8)$$

$$\tilde{Y}(z) = \sum_{k=N-1}^{2N} y_{2N-k} \cdot z^{-k} = z^{-2N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} y_k \cdot z^k, \quad (9)$$

$$\tilde{U}(z) = \tilde{Y}(z) \cdot H_q(z), \quad (10)$$

$$U(z) = z^{-2N} \cdot Y(z) \cdot H(z). \quad (11)$$

Результирующий сигнал $U(z)$, согласно расчетам, должен иметь пренебрежимо малый уровень боковых лепестков.

Результаты моделирования инверсного фильтра

Моделирование инверсного фильтра проводилось для различных случаев: приема сигнала, отраженного от одной цели, и для сигналов, отраженных от нескольких целей, расположенных на близком расстоянии друг от друга. В рамках моделирования осуществляется сравнение уровня боковых лепестков для автокорреляционной функции кода Баркера и для сигнала, снимаемого с выхода инверсного фильтра. В качестве модулирующего кода используется код Баркера длительностью семь импульсов.

Автокорреляционная функция для сигнала, отраженного от одной цели, приведена на рисунке 3, этот же сигнал, прошедший блок инверсной фильтрации, представлен на рисунке 4.

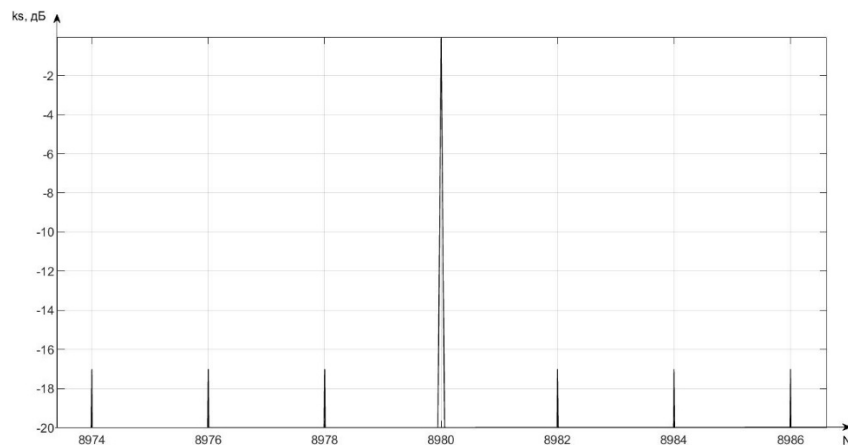


Рис. 3. Автокорреляционная функция сигнала, отраженного от одной цели (дБ)

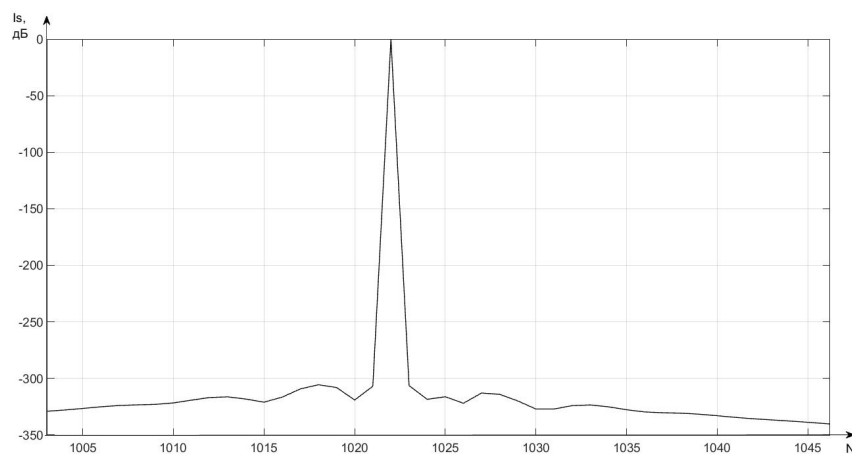


Рис. 4. Сигнал на выходе блока инверсной фильтрации (дБ), одна цель

Аналогичные графики для сигналов, отраженных от трех целей, приведены на рисунке 5 (АКФ) и рисунке 6 (выход инверсного фильтра).

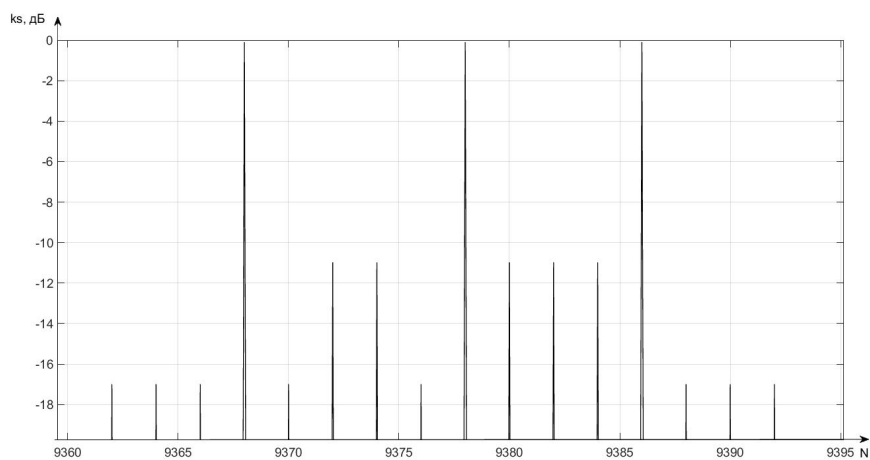


Рис. 5. Автокорреляционная функция сигнала, отраженного от трех близкорасположенных целей (дБ)

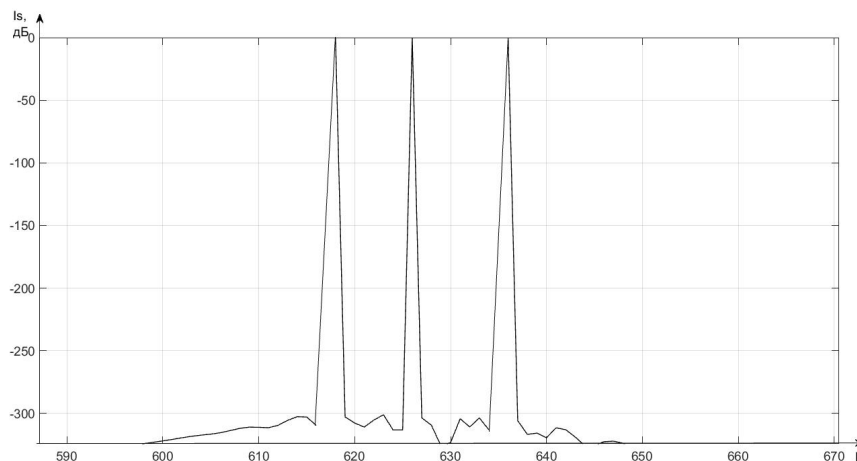


Рис. 6. Сигнал на выходе блока инверсной фильтрации (дБ), три близкорасположенные цели

Как видно из рисунков 3-6, при отсутствии шумов уровень боковых лепестков сигнала при инверсной фильтрации на порядок ниже уровня боковых лепестков АКФ того же эхо-сигнала. На практике такие параметры сигнала на выходе блока инверсной фильтрации позволяют добиться значений разрешения по дальности, существенно превосходящих аналогичные значения для системы, использующей такой тип сигнала при его обработке только путем согласованной фильтрации.

Заключение

Проведенное моделирование показало высокую эффективность применения алгоритма инверсной фильтрации для подавления боковых лепестков при приеме эхо-сигналов с фазо-кодовой манипуляцией. Применение блока инверсной фильтрации при обработке сигналов с фазо-кодовой манипуляцией позволяет существенно улучшить такой параметр радиолокационной системы, как разрешение по дальности, по сравнению с использованием только блока согласованной фильтрации ФКМ-сигнала.

Библиографический список

1. Френкс Л. Теория сигналов. Пер. с англ. под ред. Д.Е. Вакмана. — М.: Советское радио, 1974, 344 с.
2. Rihaczek A.W. Range side lobe suppression for Barker codes. — IEEE Transactions Aerospace and Electronic System, Vol AES-7, №6/1971. - pp. 1087-1092.
3. Ackroyd M.H. Optimum mismatched filters for sidelobe suppression. — IEEE Transactions Aerospace and Electronic System, Vol AES-9, №2/1973. - pp. 214-218.
4. Erikmats E. Range side lobe suppression method for a phase modulated radar pulse. — U.S. Patent №4095225, 1978.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. — М.: Радио и связь, 1985. — 384 с.
6. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. — М.: Советское радио, 1970. — 376 с.
7. Тузов Г.И. Статистическая теория приема сложных сигналов. — М.: Советское радио, 1977. — 400 с.

УДК:621.391; ГРНТИ:49.33.29

УПРАВЛЕНИЕ МЕЖСОТОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ В МОБИЛЬНЫХ LTE-СЕТЯХ

И.И. Макаркин

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, dr.makarkin2011@yandex.ru

Аннотация. В работе проводится краткий обзор по методам снижения межсотовых помех, свойственных сети стандарта LTE.

Ключевые слова: межсотовая координация помех (ICIC), мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), базовая станция сети стандарта LTE (eNodeB).

MANAGEMENT OF INTERSETTICAL INTERFERENCE IN MOBILE LTE NETWORKS

I.I. Makarkin

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, dr.makarkin2011@yandex.ru

The summary. The paper provides a brief overview of methods for reducing the inter-cell loss inherent in the LTE standard network..

Keywords: inter-cell interference coordination (ICIC), orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), LTE base station (eNodeB).

В последние годы спрос на услуги с высокой скоростью передачи данных быстро растет, и это побудило 3GPP разработать новый стандарт под названием LongTermEvolution (LTE). LTE - это широкополосная интернет-система, работающая по протоколу IP, с голосовой связью, и другие службы созданы для обеспечения конкурентоспособности 3GPP по сравнению с другими сотовыми технологиями. Следовательно, в LTE Release 8 достигается пиковая скорость передачи данных 100 Мбит / с в нисходящей линии связи и 50 Мбит / с в восходящей линии связи с задержкой радиосети менее 5 мс. Кроме того, LTE может поддерживать различные полосы пропускания, такие как 1,4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц и 20 МГц, и имеет улучшенную эффективность использования спектра [1]. Главной особенностью LTE, отличающую ее от сетей предыдущих поколений, является использование множественного доступа с ортогональным частотным разделением (OFDMA) в качестве технологии множественного доступа в нисходящей линии связи и множественный доступ с частотным разделением с одной несущей (SC-FDMA) для восходящей линии связи. Также в LTE поддерживается дуплекс с частотным разделением (FDD) и дуплекс с временным разделением (TDD) для одновременной передачи [2].

Проблема внутрисотовых и межсотовых помех в сети LTE

Поскольку ширина полосы радиосвязи является дефицитным ресурсом в беспроводной связи, многие операторы используют частоту повторного использования в своих сотовых сетях. Однако в этом сценарии производительность системы сильно ухудшается из-за помех, вызванных соседними сотами [3]. Внутрисотовые и межсотовые помехи являются двумя основными категориями помех в сотовой сети. Поскольку система нисходящей линии связи LTE использует технологию OFDMA, внутрисотовые помехи не являются проблемой из-за ортогональности среди поднесущих. Тем не менее, межсотовые помехи, которые вызваны использованием одной и той же частоты между обслуживающей сотой и соседней сотой, могут снизить производительность LTE с точки зрения пропускной способности и спектральной эффективности, особенно для абонентов на границе соты (CEU) [4]. Здесь CEU - это пользовательское оборудование в соте, которое находится далеко от обслуживающего eNodeB (базовая станция LTE), тогда как пользователи сотового центра (CCU) - это пользо-

вательское оборудование, близкое к обслуживаемому eNodeB. Следовательно, уменьшение межсотовых помех является очень важным моментом для повышения производительности системы LTE. В этой статье рассматриваются некоторые способы снижения межсотовых помех, которые нашли применение в настоящее время.

Методы снижения межсотовой интерференции

Основной целью, которая ставится при решении проблемы снижения межсотовой интерференции, является повышение качества связи для абонентов CEU, и тем самым, уравнивание помеховой ситуации для пользователей во всех точках соты. Ниже представлены способы, позволяющие снизить влияние помех от соседних сот:

1. Применение сот с небольшим радиусом обслуживания, то есть фемтосот или пикосот. Используется для покрытия участков соты, где велика плотность населения, а так же на границах покрытия;

2. Для решения поставленной проблемы достаточно распространены динамическое формирование диаграммы направленности – beamforming, а также технология разнесенной передачи и приема, представляющая один из видов MIMO (Multiple Input Multiple Output). Практика показывает, что удвоение порядка MIMO или количества приемопередатчиков позволяет получить энергетический выигрыш от 3 дБ и более. Так, к примеру, при переходе от схемы 2×2 MIMO к схеме 4×2 удается повысить уровень полезного сигнала на краю соты до 50%;

3. CoMP (coordinated multipoint) – координированная передача и прием. Данный способ подразумевает использование услуг нескольких базовых станций для обслуживания одного пользовательского оборудования. Существует две реализации данного метода: совместная передача (JP – joint processing) и координированное планирование (coordinated scheduling – CS). В свою очередь, JP так же имеет два варианта. Сравнение способов JP и CS приведены в таблице 1 [5];

Таблица 1. Сравнение координированной передачи и координированного планирования

Координированная передача		Координированное планирование
Совместная передача	Динамический выбор сектора	
Данные доступны на всех БС, которые выполняют передачу	Данные доступны на всех БС, которые способны выполнять передачу	Данные доступны только на той БС, которая выполняет передачу
Совокупность БС передают одни и те же данные	Только текущая БС передает данные	Только текущая БС передает данные, однако во время координирования передач учитывается информация от множества БС

4. LTE-A (улучшенный стандарт LTE) для повышения качества обслуживания пользователей на границе сот использует специальные точки ретрансляции Donor eNB, которые соединяются с основной БС по интерфейсу Uu;

5. Существует также косвенный способ снижения интерференционных помех – динамический контроль мощности излучения. Суть этого простого метода заключается в мониторинге базовой станцией положения относительно нее UE и отправке команд на уменьшение/увеличение мощности излучаемого сигнала;

6. Основным же и самым эффективным методом является механизм под названием ICIC (Inter-Cell Interference Coordination – Координация межсотовой интерференции). Идея этого решения заключается в том, что соседние eNodeB осуществляют передачу по интерфейсу

X2 данные о своей загруженности в виде специального индикатора – OverloadIndicator (OI). Говоря другими словами, БС фактически могут «договориться» о том, какой поддиапазон и в какой интервал времени каждый из них будет использовать. Данную процедуру можно пояснить помощью рисунка 1.

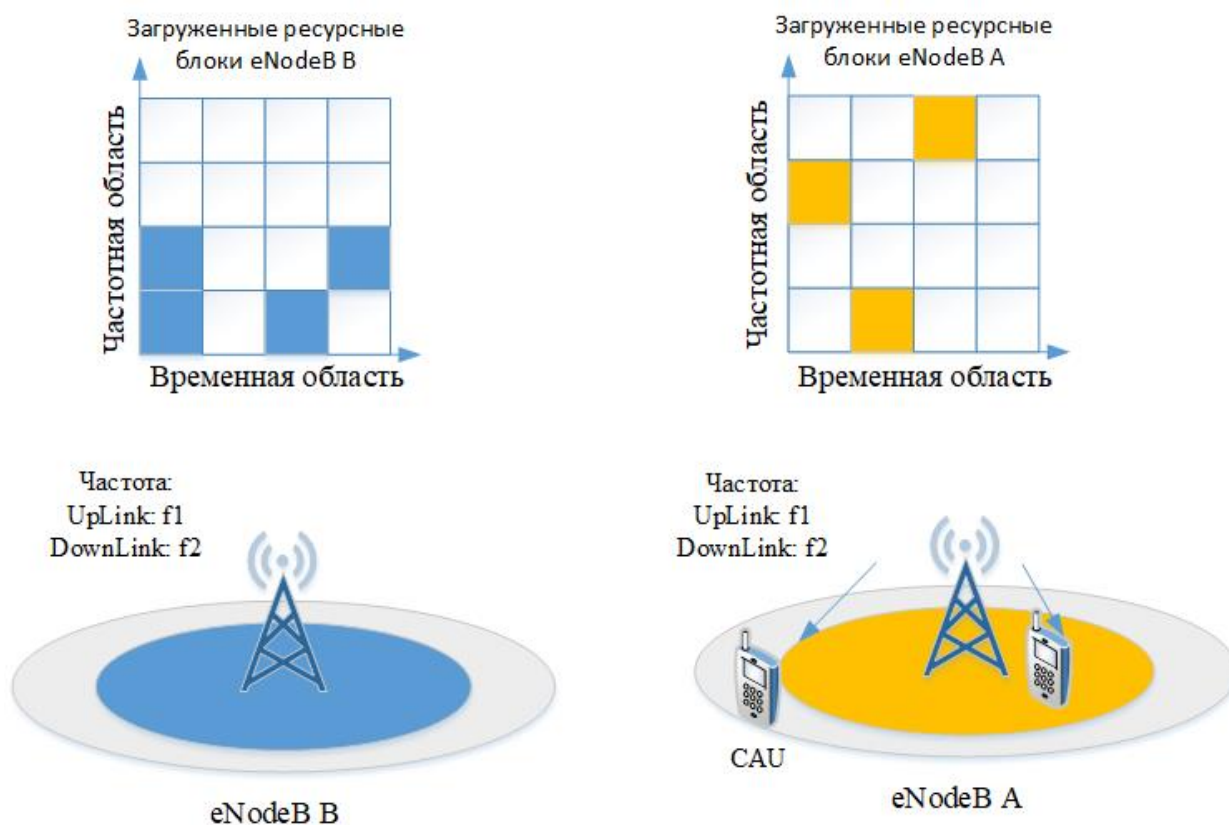


Рис. 1. Принцип работы ICIC

В настоящее время различают несколько разновидностей подхода ICIC: статическая, динамическая и полудинамическая координация. Тем не менее, суть у них остается одна: пользователям, находящимся вблизи БС может быть доступна вся полоса для передачи. Это объясняется тем, что они излучают с наименьшей мощностью, а значит, создают меньше интерференционных помех соседним сотам. В свою очередь, абонентам, находящимся на границе соты (CAU), может быть выделена либо отдельная часть спектра (частичное переиспользование частот), либо весь спектр, но через определенные промежутки времени (временное переиспользование частот) [6].

Последний способ позволяет достичь большие значения пропускной способности пользователям CAU с меньшими затратами на сигнальный обмен между eNodeB относительно классических методов, упомянутых ранее.

Дальнейшее развитие метода ICIC – технология eICIC

Метод снижения межсотовой интерференции ICIC долгое время оставался основным и самым эффективным в LTE сетях. Однако данная технология была ориентирована исключительно на гомогенные сети и имела применение при защите от помех только физических каналов данных, а не каналов управления. Устранить этот недостаток удалось в 3GPP Release

10 введением усовершенствованной технологии ICIC–eICIC (enhanced Inter-Cell Interference Coordination, усиленная координация межсотовой интерференции).

Новый метод уже был полностью ориентирован для гетерогенных сетей, то есть сетей, имеющих в своем составе кроме макросотещепикосоты и фемтосоты. Они представляют собой маломощные базовые станции (мощность передатчика $< 20\text{мВт}$) с весьма малым радиусом покрытия (20-50 м). Суть технологии eICIC раскрывается в принципе «Почти чистого субкадра» (Almost blank subframe – ABS, рисунок 2). Алгоритм действия заключается в формировании и передаче макросотой так называемых «пустых» субкадров, которые обладают пониженной мощностью и полным отсутствием данных и управляющей информации. Периоды времени, выделенные под эти субкадры, как раз и предназначены для обслуживания фемтосотой или пикосотой своих абонентов на границе макросоты [6].

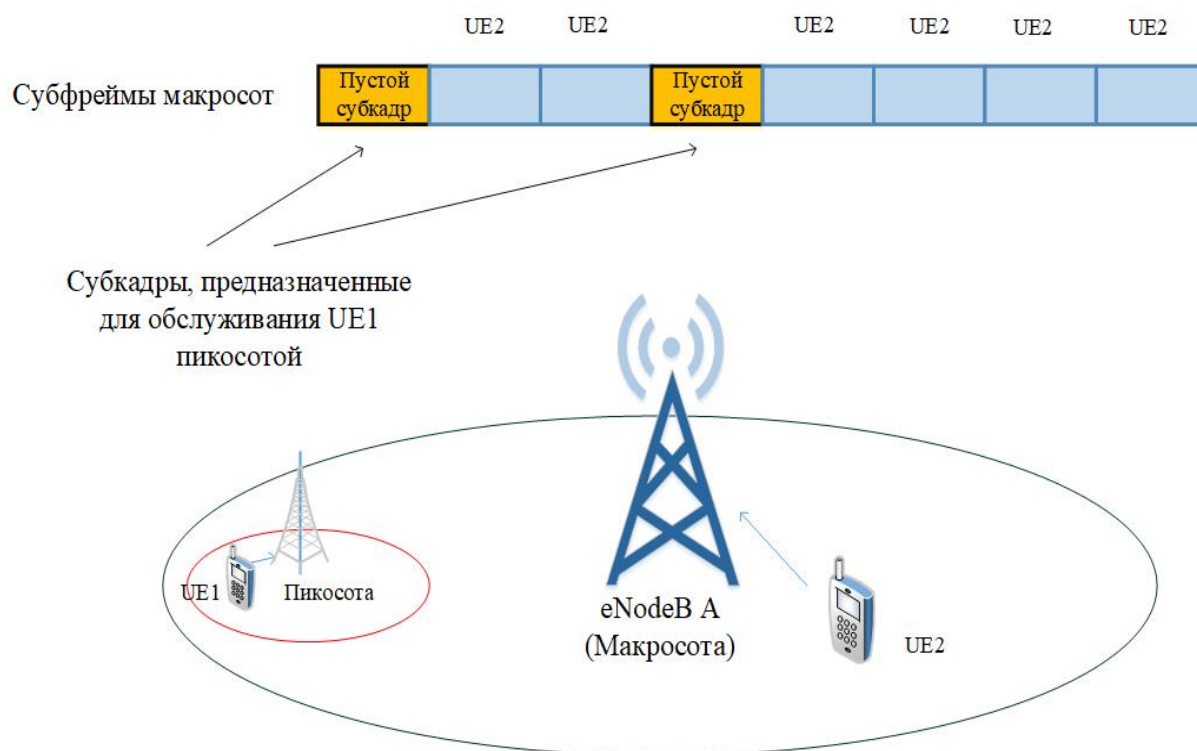


Рис. 2. Принцип работы eICIC

Таким образом, в данной статье была поднята одна из основных проблем современной сети LTE–проблема межсотовой интерференции. Для ее решения в настоящее время существует множество методов, некоторые из которых были рассмотрены в работе. Как наиболее эффективные были выделены два способа борьбы с интерференционными помехами – ICIC и его улучшенная версия eICIC.

Библиографический список

1. Aderemi A., Atayero, Juliet O., Iruemi, Matthew K., Luka, Martha K., Orya — 3GPP Long Term Evolution: Architecture, Protocols and Interfaces // International Journal of Information and Communication Technology Research—Vol. 1, No. 7.—November 2011.
2. Muhammad M. Rahman and Shalima B. Manir—Performance Analysis of Sc-FDMA and OFDMA in LTE Frame Structure // International Journal of Computer Applications—Vol. 45, No. 23.— May 2012.
3. LTE-SAE architecture and performance / Beming P., Frid L., Hall G., Malm P., Noren T., Olsson M., et al [Электронный ресурс]. — <http://www.ericsson.com>. — Дата доступа: 10.02.2019.

4. Bogineni K., Ludwig R., Mogensen P., Nandall V., Vucetic V., Yi B.K. & Zvonar Z. (2009, February). LTE Part I: Core Network. [Электронный ресурс]. IEEE Communications Magazine, Pages 40-49 (дата обращения 10.02.2019)
5. Анисимов А. Обзор LTE-Advanced, основные характеристики и отличия от LTE [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://anisimoff.org/lte/lte-advanced%20overview.html> (дата обращения: 10.02.2019).
6. 3GPP long term evolution [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://4g-lte-world.blogspot.ru/2012/06/icic-and-eicic.html> (дата обращения: 10.02.2019).

УДК 621.396.931; ГРНТИ 49.03.05

ПОЛЯРНЫЕ КОДЫ. СХЕМА СОВМЕЩЕННОГО КОДИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКА И КАНАЛА

А.В. Филатов

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

Аннотация. Полярные коды – класс линейных кодов. Это первый класс кода, который может быть достигнут (при строгом математическом анализе) симметричного канала без памяти. Они имеют лучшую производительность декодирования по сравнению с LDPC и Турбокодами при определенных условиях.

Ключевые слова: полярные коды, произведение Крокера, код исправления ошибок, турбокоды, LDPC коды.

POLAR CODES. A JOINT SOURCE CHANNEL CODING PERSPECTIVE

A.V. Filatov

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

The summary. Polar codes are a class of provably capacity achieving error correcting codes (ECC) for memoryless symmetric channels with low-complexity code structures; they have been shown to enjoy better decoding performance over LDPC and Turbo codes under certain scenarios.

Keywords: polar codes, Kronecker power, error correction code, LDPC codes, turbo codes.

Введение

Методы кодирования каналов широко делятся на два класса: блочные коды и сверточные коды. Блочные коды работают с блоком данных / битами с фиксированным размером и производят манипуляции с этим блоком в передатчике и приемнике. Коды Рида-Соломона, являются одним из примеров этого типа кода. С другой стороны, сверточные коды работают с потоками данных с произвольным количеством данных / бит. Эти коды применяют метод скользящего окна, который обеспечивает существенное преимущество декодирования. Простые коды Витерби являются примером этого типа кода.

На протяжении многих лет проводились значительные продуктивные исследования в объединении блочных и сверточных кодов, чтобы сочетать преимущества обоих. Например, код RSV, который был наиболее эффективным кодом до турбокодов, был гибридом кода Рида-Соломона, который является блочным кодом, и сверточным кодом Витерби.

Принцип работы турбо и полярных кодов

Турбокоды являются примером метода объединения кодов. Производительность по сравнению с другими такими кодами потрясюще велика. Они были первым набором кодов, которые приближались к пределу мощности Шеннона с относительно умеренным уровнем сложности. Турбокоды объединяют два кодера с сверточным типом, два последовательных декодера и перемежитель. Турбокоды получают свое название от новой петли обратной связи.

Полярные коды работают на блоках символов / бит и поэтому являются технически членами семейства блочных кодов. Конструкция этих кодов значительно отличается от турбокодов. Во многих отношениях методы напоминают некоторые из операций, которые в основном используются в средствах связи в первую очередь семейством быстрых преобразований Фурье (FFT).

Преобразование включает в себя две ключевые операции, называемые комбинацией каналов и расщепление каналов. Процесс объединения каналов напоминает манипуляции с битами и отображение подблоков в конфигурации формы сигнала OFDM. То есть в кодере объединение каналов первоначально назначает / отображает тщательно свернутые комбинации бит / символов в конкретные каналы.

Последующее расщепление канала выполняет операцию неявного преобразования (аналогичную частотной области для временной области), переводя эти комбинации бит / символ в векторы временной области, готовые к декодированию.

Полярные коды до сих пор заменяли турбокоды в каналах управления 5G eMBB (расширенная мобильная широкополосная связь) и на физическом широкополосном канале. Хотя эти каналы обычно работают только при низких скоростях передачи данных, уменьшенная сложность полярных кодов сделала их более привлекательным выбором, чем турбокоды.

Полярные коды

Полярные коды – класс линейных кодов. Это первый класс кодов, который может быть достигнут (при строгом математическом анализе) симметричного канала без памяти.

Целью применения ПК является создание такой решающей схемы, при которой вероятность ошибочного приема также стремится «0». Концепция формирования ПК построена на базе ядра Арикана.

Допустим W это симметричный канал без памяти с входным алфавитом X и выходным алфавитом Y с матрица вероятностей перехода $W(y|x)$, где $x \in X$, $y \in Y$. Обозначим W_N - канал образованный N независимыми копиями W - канала. Полярное кодирование может рассматриваться как процесс объединения каналов, которое рекурсивно объединяет W_N в синтезированный вектор канал: $\{W_N : X_N \rightarrow Y_N\}$.

Возьмем $F \in [1 \ 0 \ 1 \ 1]$ (матрица Ядра Арикана) – матрица 2×2 , а $F^{\otimes n}$ – генераторная матрица, где $\otimes$ – произведение Кронекера (бинарная операция над матрицами произвольного размера, результатом которого является блочная матрица).

$F^{\otimes n}$ будет матрицей размерностью $N \times N$, где $\otimes$ – символ, обозначающий n -ую степень, в основе которой лежит кронекеровское (прямое) произведение матриц).

Переданное кодовое слово можно определить следующим выражением:

$$x_1^N = u_1^N G_N = u_1^N B_N F^{\otimes n}, \quad (1)$$

где G_N – генераторная матрица полярного кода;

B_N – перестановочная матрица с инверсным следованием бит;

u_1^N – входная последовательность бит.

Приемник включает в себя разделение W_N на каждый отдельный бит канала $W_N^{(i)}$, где $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Если длина блока N стремится к бесконечности, некоторые битовые каналы будут абсолютно достоверными, а другие – с большими шумами, при этом доля достоверных битовых каналов достигает пропускной способности канала C . На практике если вы хотите отправить K бит по каналу, следует выбрать K лучших битовых каналов для их передачи (так называемые «незамороженные» биты), а остальные $N-K$ битовых каналов несут фиксированные шумы.

рованную последовательность (замороженные биты), которые априори известны декодеру. Замороженные и незамороженные биты вместе образуют входной вектор u_1^N полярного кода.

Полярные коды могут быть декодированы SC декодером. В SC декодере биты u_1^N декодируются последовательно, т.е. решение о текущем битовом канале зависит от решения ранее декодированных битов.

Пусть y_1^N будет выходным вектором, тогда оценка $\hat{u}_1^N$ вектора U_1^N может быть записана как:

$$\hat{u}_i = \begin{cases} h_i(y_1^N, \hat{u}_1^{i-1}), & \text{если бит } i \text{ незамороженный } u_i \\ u_i, & \text{если бит } i \text{ замороженный,} \end{cases}$$

где:

$$h_i(y_1^N, \hat{u}_1^{i-1}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{W_N^{(i)}(u_i = 0)}{W_N^{(i)}(u_i = 1)} < 1 \\ 1, & \text{если } \frac{W_N^{(i)}(u_i = 0)}{W_N^{(i)}(u_i = 1)} \geq 1. \end{cases}$$

SC декодер имеет сложность декодирования $O(N \log_2 N)$ и может достигать пропускной способности канала, когда длина кода равна бесконечности, но его производительность очень низкая при коротких длинах блоков.

SCL декодер [3] предложен для улучшения эффективности SC декодера. Идея заключается в том, что для незамороженных бит декодер разделит путь декодирования на два для $u_i = 0$ и $u_i = 1$ с сохранением длины пути для каждого. SCL декодер будет поддерживать не более L лучших путей во время процесса декодирования и выведет путь с лучшей метрикой в качестве результата декодирования. С относительно большим числом путей L производительность алгоритма декодирования SCL может быстро сходиться к декодированию по критерию максимального правдоподобия.

Полярные коды на коротких длинах являются слабыми по своей природе, поэтому даже ML-декодирование (декодирование с максимальным правдоподобием) с LDPC-кодом (Low-density parity-check code, низкоплотностный код) или Турбо коды обеспечивают более высокую эффективность. И как следствие этого CRC-код (Cyclic redundancy check, циклический избыточный код) или хэш-последовательность должны быть добавлены к полярным кодам, чтобы увеличить минимальное кодовое расстояние, и, соответственно, производительность. С помощью CRC-кодов короткие полярные коды могут превосходить коды LDPC и турбокоды [3]. В настоящее время общепризнанно, что для коротких полярных кодов достаточного небольшого количества дополнительной информации для значительного повышения их эффективности декодирования необходима для повышения производительности.

Метаданные при декодировании полярных кодов (Metadata-assisted polar decoding)

В SSD накопителях (solid-state drive, твердотельный накопитель) пользовательские данные и соответствующие метаданные, хранящиеся на NAND, записываются в блок кодового слова ECC (error-correcting code memory, память с коррекцией ошибок), который имеет форматированную структуру данных. На рисунке 3 показан один формат, используемый при этом. Следует отметить, что жестких ограничений в формате данных нет, он может несколько отличаться от того, что показан на рисунке 1.

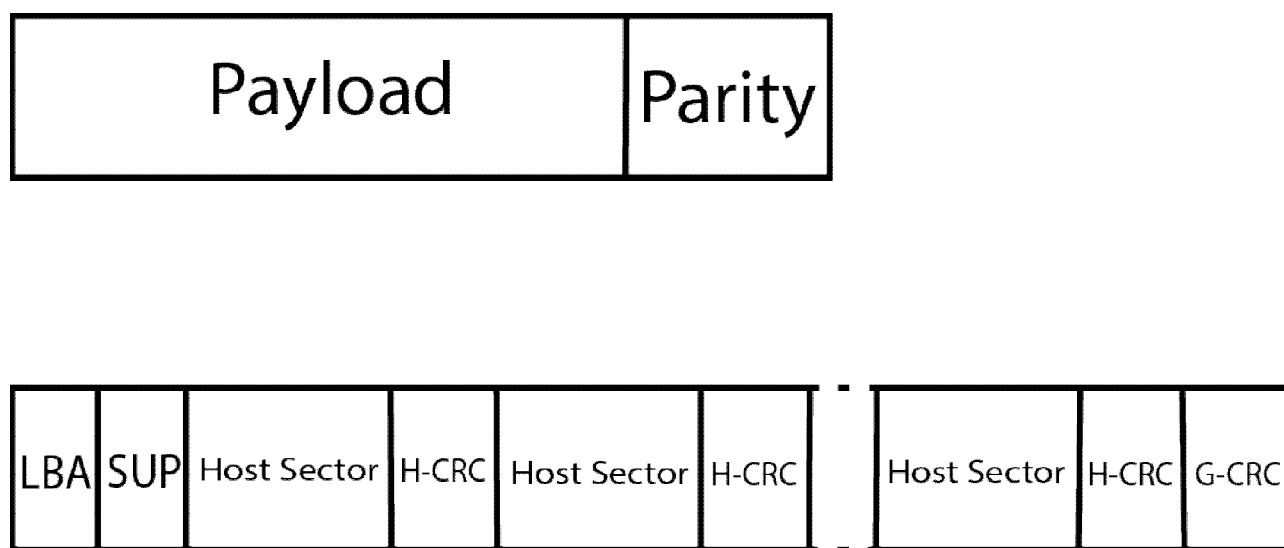


Рис. 1. Блок кодового слова ECC

Раздел 'payload' в кодовом слове ECC в основном состоит из нескольких принимающих секторов (host-sector). Host-сектор является основным блоком данных, используемым хостом, и его размер составляет порядка 512 байт. Каждый host-сектор имеет поле CRC (H-CRC) с типичным размером 2 или 4 байта, добавленным к host-сектору для контроля целостности данных. В начале поля payload (полезная часть) имеется логический адрес блока (LBA), который указывает логический адрес секторов. Размер поля LBA зависит от емкости SSD. Нижний блок, представленный на рисунке 1, также использует дополнительное поле «SUP» для своего высокоуровневого управления. В конце полезной части (payload) содержится поле глобального CRC (G-CRC), размером 2 или 4 байта, используемое для контроля целостности всех предыдущих полей. Наконец, вся полезная нагрузка кодируется полем ECC, при этом добавляются соответствующие биты четности. Поля LBA, SUP, H-CRC и G-CRC иногда рассматриваются как метаданные или избыточные данные, поскольку они не являются пользовательскими данными как таковыми.

Почти все метаданные могут быть легко использованы полярным декодером для повышения эффективности декодирования. Для чего используются в основном три аспекта:

1. Отсутствие снижения скорости кода за счет добавления полей CRC: G-CRC может использоваться для окончательного устранения путы в декодировании SCL без потерь [3].
2. Низкая скорость кода: LBA и SUP (частично или полностью) известны априори со стороны прошивки контроллера SSD, которая превращает небольшую часть замороженных битов в замороженные биты в полярном коде.
3. Механизм ранней обрезки и детерминирования: поле H-CRC может использоваться периодически, чтобы исключить недопустимые частичные пути во время декодирования.

Первый аспект относительно очевиден: нет потери скорости поскольку встроенное поле G-CRC принадлежит к полезной нагрузке, в противном случае потребуются избыточность r / N из-за постороннего поля CRC размера r бит.

Касаемо второго аспекта, необходимо отметить, что LBA обычно имеет размер 32, 48 или 64 бита, все значения битов известны в полярном декодере (предоставляются микропрограммой); с другой стороны, некоторые битовые поля в SUP также известны декодеру, например, некоторые нулевые биты – из-за требований выравнивания бит / байта в структуре данных. В этой статье биты с такими свойствами называются JSCC frozen bits (замороженными битами). Следуя обозначениям в [1], пусть A (A_c) – индексы незамороженных (замороженных) битов в (N, K) полярном коде. Предположим, что существует несколько замороженных битов в кодовом слове. При этом мы можем выбрать P бит-каналов с наибольшими вероятностями ошибки в A и поместить их в A_c [4]. Таким образом, исходный (N, K) полярный код становится кодом $(N, K-P)$ с более низкой скоростью кодирования и улучшенной способностью декодирования. Что касается третьего аспекта, если мы рассматриваем один сектор и его поле H-CRC как подсекцию в полярном кодовом слове, SCL декодер может использовать поле H-CRC для проверки действительности последних декодированных подсекции после завершения работы «subsection», как это сделано в [3]. Пока сектор в subsection не может пройти его H-CRC поле, следовательно это неправильный путь, который должен быть отброшен немедленно.

Предлагаемый в этой работе алгоритм multi-CRC JSCC с несколькими CRC включает в себя как H-CRC поле, так и G-CRC поле. Псевдокод для алгоритма выглядит следующим образом (Листинг 1).

По сравнению с [3], наша схема multi-CRC JSCC с несколькими CRC имеет дополнительный G-CRC сектор для контроля целостности всех полей. Кроме того, схема отличается от [4], т.к. мы имеем фиксированный размер subsection: когда происходит проверка поля H-CRC на полпути, замороженные биты должны быть исключены, прежде чем вычисления достигнут конца subsection.

Листинг 1

INPUT: Received channel vector y_1^N

PROCESS:

FOR(unfrozen bit I during the decoding process)

IF(bit I is the last bit of a subsection)

Apply H-CRC on the corresponding subsection, prune the partial paths that does not satisfy H-CRC. Declare decoding failure if there is no H-CRC compatible path.

ELSE

Continue normal SCL decoding

END

IF(bit i is the last bit of G-CRC)

Apply G-CRC on the candidates in the final list, output the G-CRC compatible path with highest path measure, otherwise decoding failure.

END

END

OUTPUT

Заключение

Полярные коды на коротких длинах являются слабыми. И, как следствие этого, CRC или хэш-последовательность должны быть добавлены к полярным кодам, чтобы увеличить минимальное кодовое расстояние, и, соответственно, производительность. С помощью CRC, короткие полярные коды могут превосходить коды LDPC и турбокоды. В настоящее время

общепризнанно, что для коротких полярных кодов достаточно небольшого количества дополнительной информации для значительного повышения их эффективности декодирования необходима для повышения производительности.

Библиографический список

1. Xin Liu, Gene Cheung, Chen-Nee Chuah, "Joint source/channel coding of WWAN multicast video for a cooperative peer-to-peer collective using structured network coding" / IEEE Signal Processing Magazine, October 2009.
2. Marwa Ben Abdesslem, Amin Zribi, Tad Matsumoto, "Graph-based Joint Source Channel LDPC decoding for cooperative communication with error-corrupted relay observations" / IEEE Signal Processing Magazine, July 2017.
3. S. Nandan, P. P. Deepthi, "Joint Source Channel Coding Using LDPC Codes" / IEEE Signal Processing Magazine, December 2012.
4. Huihui Wu, He Jiguang, Liangliang Xu, "Joint Source-Channel Coding Based on P-LDPC Codes for Radiography Images Transmission" / IEEE Signal Processing Magazine, December 2012.
5. Liuguo Yin, Jianhua Lu, Youshou Wu, "LDPC-based joint source-channel coding scheme for multimedia communications" / IEEE Signal Processing Magazine, February 2003.

УДК 621.396; ГРНТИ 49.43

УСЛОВИЯ ПРИНЯТИЯ ЖЕСТКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДЕМОДУЛЯЦИИ PSK-СИГНАЛОВ

М.О. Исаев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань madner28@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются несколько сигнально-кодовых созвездий (СКС) для видов модуляции BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK. Исследуется их форма, используемая в стандарте спутникового цифрового телевидения второго поколения (DVB-S2), а так приводятся условия принятия жестких решений в процессе демодуляции.

Ключевые слова: сигнально-кодовое созвездие (СКС), 16APSK, 32APSK, цифровое спутниковое вещание второго поколения (DVB-S2), жесткое решение.

CONDITIONS OF HARD DECISION MAKING FOR DEMODULATING PSK SIGNALS

M.O. Isaev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, madner28@gmail.com*

The summary. The work considers several constellations for modulation types: BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK. Their form, which is used in the second generation satellite digital television standard (DVB-S2) is being investigated, and the conditions for making hard decisions in the demodulation process are given.

Keywords: signal constellation, 16APSK, 32APSK, digital video broadcasting - satellite - second generation (DVB-S2), hard decision.

Как правило процесс демодуляции принимаемого сигнала в стандартах цифрового телевидения сопряжен с необходимостью обеспечить высокую достоверность последующего процесса декодирования. И для это требуется вычислить мягкую оценку принимаемых из канала бит. В общем случае для этого используются алгоритмы, основанные на расчёте логарифмических отношений правдоподобия (LLR). Но в связи с ограниченностью вычислительных ресурсов при реализации подобных алгоритмов, например, на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), возникает потребность в упрощенных алгоритмах расчёта мягких оценок, не требующих использования высокочастотных математических операций. Помимо использования мягких оценок для достоверного декодирования принимаемого сигнала, могут использоваться жесткие оценки с допустимым уровнем деградации качества связи.

Таким образом в данной статье будут рассмотрены некоторые СКС использующиеся в стандарте цифрового телевидения DVB-S2 [1], а также приведены условия формирования жестких оценок принимаемых из канала символов модуляции.

Условия принятия жестких решений для BPSK

Оценка жестких решений производится независимо для каждого из бит, принятого BPSK символа.

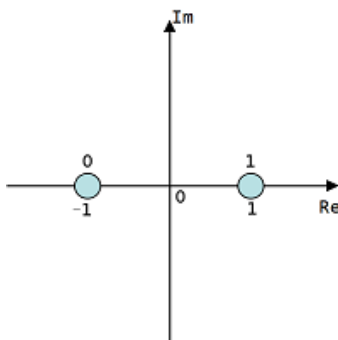


Рис. 1. Сигнально-кодовое созвездие сигнала BPSK

Рассмотрев расположение символов на сигнально-ковом созвездии (СКС) рисунок 1, нетрудно заметить, что значение принятого символа зависит только от значения компоненты Re , причем если значение $Re \geq 0$ – значение принятого символа равно 1, а если $Re < 0$, то значение принятого символа равно 0. Соответственно значением порога для принятия жесткого решения будет установлено равным нулю.

Условия принятия жестких решений для QPSK

Рассмотрим процесс принятия жестких решений для модуляции QPSK.

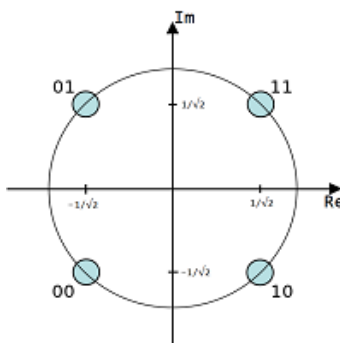


Рис. 2. Сигнально-кодовое созвездие сигнала QPSK

Рассмотрев расположение значений старшего бита x_1 QPSK (x_1, x_0) символа на СКС рисунка 2, можно увидеть, что его значение не зависит от компоненты Im , а только от Re . Соответственно если $Re \geq 0$, то старший бит x_1 символа равен 1, а если $Re < 0$, то 0. Таким образом значение порога для бита x_1 символа QPSK устанавливается равным нулю.

Для младшего бита x_0 все вышесказанное также справедливо, за исключением того, что значение бита зависит от компоненты Im , а не от компоненты Re . Соответственно если $Im \geq 0$, то бит $x_0 = 1$, а если $Im < 0$, то 0.

Условия принятия жестких решений для 8PSK

Для принятия жестких решений о принятом бите сигнала 8PSK необходимо вычислить фазу принятого символа по следующей формуле [2]:

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{s_r^{im}}{s_r^{re}} \right), \quad (1)$$

где φ' – значение фазы принятого символа,

s_r^{im} – мнимая компонента принятого символа,

s_r^{re} – действительная компонента принятого сигнала.

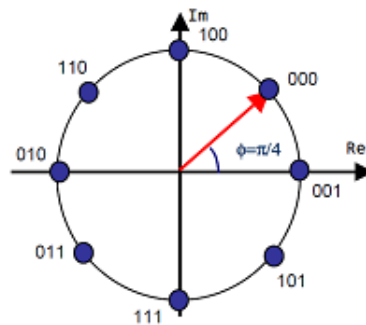


Рис. 3. СКС сигнала 8PSK

Для упрощения принятия жестких решений, необходимо составить таблицу соответствия значений фазы и значений бит принимаемого символа.

Анализируя рисунок 3 можно сделать вывод, что для бита x_2 условия принятия жесткого решения будут следующие:

$$x_2 = 1, \text{ если } \begin{cases} 3\pi/8 \leq \varphi' \leq 7\pi/8 \\ 11\pi/8 \leq \varphi' \leq 15\pi/8 \end{cases} \quad x_2 = 0, \text{ если } \begin{cases} 7\pi/8 \leq \varphi' \leq 11\pi/8 \\ 15\pi/8 \leq \varphi' \leq 2\pi \\ 0 \leq \varphi' \leq 3\pi/8 \end{cases}.$$

Аналогичным образом составляются условия для бит x_1 и x_0 :

$$\begin{aligned} x_1 = 1, \text{ если } 5\pi/8 \leq \varphi' \leq 13\pi/8 & \quad x_0 = 1, \text{ если } \begin{cases} 9\pi/8 \leq \varphi' \leq 2\pi \\ 0 < \varphi' \leq \pi/8 \end{cases} \\ x_1 = 0, \text{ если } \begin{cases} 13\pi/8 < \varphi' \leq 2\pi \\ 0 < \varphi' \leq 5\pi/8 \end{cases} & \quad x_0 = 0, \text{ если } \pi/8 < \varphi' < 9\pi/8 \end{aligned}.$$

Условия принятия жестких решений для 16APSK

Для принятия жестких решений о принятом бите сигнала APSK16 необходимо помимо значения фазы, вычисляемой с помощью (1), рассчитать уровень амплитуды по следующей формуле [2]:

$$amp = \sqrt{(s_r^{re})^2 + (s_r^{im})^2}, \quad (2)$$

где amp – уровень амплитуды принятого символа, а также расстояние до точки на СКС.

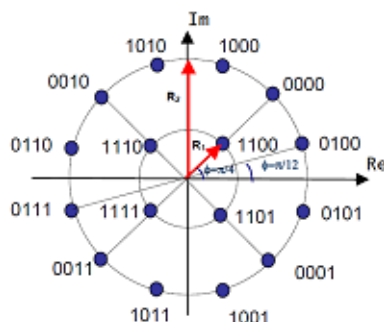


Рис. 4. СКС сигнала 16APSK

Анализируя рисунок 4, можно заметить некоторые закономерности расположения точек на СКС, которые помогут составить условия принятия жестких решений по каждому биту (x_3, x_2, x_1, x_0) принятого символа APSK16.

Первоначально, для каждого из бит принятого символа необходимо определить к какой окружности СКС он относится. Для это вычисляется значение амплитуды по формуле (2) и сравнивается с некоторым пороговым радиусом, значение которого рассчитывается на основе значений радиусов окружности СКС:

$$R_t = \frac{R_2 + R_1}{2}, \quad (3)$$

где R_t – пороговый радиус,

R_1 – радиус внутренней окружности,

R_2 – радиус внешней окружности.

Таким образом, условия, при которых бит x_3 принятого символа APSK16 равен 0 или 1, следующие

$$x_3 = 1, \text{ если } \begin{cases} amp \leq R_t \\ amp > R_t \\ 4\pi / 12 \leq \varphi' \leq 8\pi / 12 \\ 16\pi / 12 \leq \varphi' \leq 20\pi / 12 \end{cases} \quad x_3 = 0, \text{ если } \begin{cases} amp > R_t \\ 8\pi / 12 < \varphi' < 16\pi / 12 \\ 20\pi / 12 \leq \varphi' \leq 2\pi \\ 0 < \varphi' < 8\pi / 12 \end{cases}.$$

Условия принятия жесткого решения относительно бита x_2 будут выглядеть следующим образом:

$$x_2 = 1, \text{ если } \begin{cases} amp \leq R_t \\ amp > R_t \\ 10\pi / 12 \leq \varphi' \leq 14\pi / 12 \\ 22\pi / 12 \leq \varphi' \leq 2\pi \\ 0 < \varphi' \leq 2\pi / 12 \end{cases} \quad x_2 = 0, \text{ если } \begin{cases} amp > R_t \\ 2\pi / 12 < \varphi' < 10\pi / 12 \\ 14\pi / 12 \leq \varphi' \leq 22\pi / 12 \end{cases}.$$

Для бит x_1 и x_0 условия принятия решения несколько проще. Из рисунка 4 видно, что значение бита x_1 зависит только от действительной компоненты Re принятого из канала символа, соответственно если $Re > 0$, то $x_1 = 0$, а если $Re \leq 0$ - $x_1 = 1$. Аналогично выглядит условие для бита x_0 , только его значение зависит не от действительной компоненты, а от мнимой Im, следовательно если $Im > 0$, то $x_0 = 0$, а если $Im \leq 0$, то $x_0 = 1$.

Условия принятия жестких решений для 32APSK

Принятие жестких решений для бит (x_4, x_3, x_2, x_1, x_0) символа APSK32 осложняется наличием трёх окружностей в СКС (рисунок 5). Но тем не менее общий набор условий похож на описанные выше.

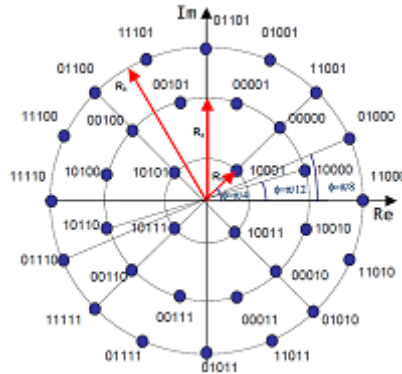


Рис. 5. СКС сигнала APSK32

Рассматривая рисунок 5, можно проследить закономерности распределения точек СКС на каждой из окружностей. Основываясь на этих закономерностях, составим условия принятия жестких решений для каждого бита принятого символа.

Для начала необходимо провести расчёт значений пороговых радиусов по аналогии с формулой (3):

$$R_{t1} = \frac{R_2 + R_1}{2}, \quad (4)$$

$$R_{t2} = \frac{R_3 + R_2}{2}, \quad (5)$$

где R_{t1}, R_{t2} – первый и второй пороговые радиусы соответственно,

R_1, R_2, R_3 – радиусы окружностей СКС.

Также будет необходимо будет воспользоваться выражениями (1) и (2) для расчета значений фазы и амплитуды принятого из канала символа.

Таким образом набор условий для принятия жесткого решения относительно бита x_4 будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{array}{l}
 \text{amp} \leq R_{t1} \\
 \left\{ \begin{array}{l} R_{t1} < \text{amp} \leq R_{t2} \\ 10\pi/12 \leq \varphi' \leq 14\pi/12 \\ 22\pi/12 \leq \varphi' \leq 2\pi \\ 0 < \varphi' \leq 2\pi/12 \end{array} \right. \\
 x_4 = 1, \text{ если } \left\{ \begin{array}{l} \text{amp} > R_{t2} \\ 0 < \varphi' \leq \pi/16 \\ 3\pi/16 \leq \varphi' \leq 5\pi/16 \\ 9\pi/16 \leq \varphi' \leq 11\pi/16 \\ 13\pi/16 \leq \varphi' \leq 17\pi/16 \\ 19\pi/16 \leq \varphi' \leq 21\pi/16 \\ 25\pi/16 \leq \varphi' \leq 27\pi/16 \\ 29\pi/16 \leq \varphi' \leq 2\pi \end{array} \right.
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \left\{ \begin{array}{l} R_{t1} < \text{amp} < R_{t2} \\ 2\pi/12 < \varphi' < 10\pi/12 \\ 14\pi/12 < \varphi' < 22\pi/12 \end{array} \right. \\
 \left\{ \begin{array}{l} \text{amp} > R_{t2} \\ \pi/16 < \varphi' < 3\pi/16 \\ 5\pi/16 < \varphi' < 9\pi/16 \\ 11\pi/16 < \varphi' < 13\pi/16 \\ 17\pi/16 < \varphi' < 19\pi/16 \\ 21\pi/16 < \varphi' < 25\pi/16 \\ 27\pi/16 < \varphi' < 29\pi/16 \end{array} \right. \\
 x_4 = 0, \text{ если }
 \end{array}$$

Основываясь на рисунке 7, можно заметить, что значения бита x_3 зависят только от радиуса окружности СКС, другими словами от уровня амплитуды (1), принятого из канала символа. Соответственно условия принятия жесткого решения для x_3 будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} x_3 &= 0, \text{ если } amp < R_{t2}, \\ x_3 &= 1, \text{ если } amp \geq R_{t2}. \end{aligned}$$

Далее прослеживаются закономерности в распределении значений для бит x_2 и x_1 , а именно значения x_2 зависят от значения действительной компоненты принятого из канала символа, а x_1 – мнимой. Соответствующие условия принятия жесткого решения будут следующие:

$$\begin{aligned} x_2 &= 0, \text{ если } Re > 0 \text{ или } Re = 0 \text{ и } Im < 0, & x_1 &= 0, \text{ если } Im > 0 \text{ или } Im = 0 \text{ и } Re > 0, \\ x_2 &= 1, \text{ если } Re < 0 \text{ или } Re = 0 \text{ и } Im > 0, & x_1 &= 1, \text{ если } Im < 0 \text{ или } Im = 0 \text{ и } Re < 0. \end{aligned}$$

Для последнего x_0 бита набор условий так же, как и для x_4 будет базироваться на расчете значения фазы (1) и уровня амплитуды принятого символа (2) и будет выглядеть следующим образом:

$$x_0 = 1, \text{ если } \begin{cases} amp \leq R_{t1} \\ R_{t1} < amp \leq R_{t2} \\ 4\pi / 12 \leq \varphi' \leq 8\pi / 12 \\ 16\pi / 12 \leq \varphi' \leq 21\pi / 12 \end{cases} \quad x_0 = 0, \text{ если } \begin{cases} R_{t1} < amp < R_{t2} \\ 0 < \varphi' < 4\pi / 12 \\ 8\pi / 12 < \varphi' < 16\pi / 12 \\ 21\pi / 12 < \varphi' \leq 2\pi \end{cases}$$

$$\begin{cases} amp > R_{t2} \\ 3\pi / 16 \leq \varphi' \leq 11\pi / 16 \\ 19\pi / 16 \leq \varphi' \leq 27\pi / 16 \end{cases} \quad \begin{cases} amp > R_{t2} \\ 0 < \varphi' < 3\pi / 16 \\ 11\pi / 16 < \varphi' < 19\pi / 16 \end{cases}$$

Таким образом в рамках данной статьи был представлен набор условий, позволяющий принять жесткое решение о принятом бите для BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK модуляций. Для использования этих условий необходимо провести расчёт значения фазы принятого символа и его расстояния от центра СКС по формулам (2) и (1) соответственно. Это позволяет упростить последующее получение мягких оценок по сравнению с расчётом LLR, которое основано на вычислении логарифмов и экспонент.

Библиографический список

1. ETSI EN 302 307, Digital Video Broadcasting(DVB); Second Generation framing structure, channel coding and modulation for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite application, Part 1: DVB-S2, 2014-11
2. Pervaiz Ali, Farhan Hussain and Jechang Jeong, «A New Demapping Technique for 16-APSK Modulation for Digital Video Broadcasting in AWGN Channel»

УДК 621.396.931; ГРНТИ 49.03.05

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СХЕМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ НЕДВОИЧНЫЕ КОДЫ

А.И. Лошкарёв

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская федерация, Рязань, sasha.loshckarev@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается история развития недвоичных кодов с малой плотностью проверок на четность (МППЧ). Рассмотрен алгоритм формирования проверочной матрицы для недвоичных кодов МППЧ, основанный на расширении проверочной матрицы для двоичных кодов МППЧ.

Ключевые слова: недвоичные коды с малой плотностью проверок на четность (МППЧ), алгоритм сумма-произведение (SPA), логарифмическое отношение правдоподобия (LLR).

STUDY OF MODERN FORWARD ERROR CORRECTION CODING SCHEMES BASED ON NON-BINARY CODES

A.I. Loshkarev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, sasha.loshckarev@yandex.ru*

Abstract. The paper deals with the history of the development of non-binary low-density parity check codes (LDPC). An algorithm for the construction of a parity check matrix for non-binary LDPC codes based on the extension of the parity check matrix for binary LDPC code is considered.

Keywords: non-binary low-density parity check codes (NB-LDPC), sum-product algorithm (SPA), log-likelihood ratio (LLR).

Введение

Коды низкой плотностью проверок на четность (LDPC) были введены Галлагером в 1963 году вместе с несколькими алгоритмами декодирования. Также было показано, что двоичные коды LDPC при декодировании с использованием алгоритма «сумма-произведение» (англ. sum-product algorithm, SPA) приближаются к пропускной способности канала с белым гауссовским шумом (АБГШ) [1]. Коды LDPC были улучшены двумя способами. С одной стороны, сняв определенные ограничения с проверочной матрицы кода, было показано, что полученные нерегулярные коды LDPC превосходят регулярные коды LDPC. С другой стороны, реализуя алгоритмы кодирования и декодирования с использованием конечных полей более высокого порядка, можно создавать лучшие коды. Такие коды также имеют превосходную производительность при наличии пакетных ошибок. В 1999 году Маккеем и Вилсоном было показано, что наиболее эффективными LDPC кодами с точки зрения отношения вероятности битовой ошибки (BER) к отношению сигнал-шум (SNR) являются нерегулярные недвоичные LDPC коды.

Прямая реализация алгоритма декодирования SPA для двоичных кодов имеет несколько недостатков по сравнению с алгоритмом log-SPA, основанным на расчете логарифмического правдоподобия (LLR): прямая реализация более чувствительна к эффектам квантования и требует большего количества уровней квантования, чем при использовании log-SPA. В алгоритме SPA ключевой операцией является умножение, тогда как реализация алгоритма log-SPA требует выполнения сложения. Последнее более эффективно в реализациях с фиксированной запятой, поскольку умножения с фиксированной запятой может занимать много тактов по сравнению со сложением. Дополнения в SPA заменяются логарифмом Якоби, который может быть аппроксимирован очень простой функцией, в результате чего получается max-log-SPA алгоритм. Наконец, реализация log-SPA не требует шага нормализации [2].

Декодирование SPA по большим полям Галуа имеет те же недостатки. Отметим, что подход с логарифмической областью для недвоичных турбокодов был исследован в [3]. В публикации [2] рассматривается схема декодирования log-SPA для общих недвоичных кодов LDPC на основе LLR. Этот алгоритм математически эквивалентен исходному алгоритму декодирования. Кроме того, также исследуется снижение производительности неоптимального варианта (max-log-SPA) с помощью компьютерного моделирования. Проведены сравнения сложности вычислений и требований к памяти различных алгоритмов.

Кодирование

Коды LDPC являются линейными блоковыми кодами. Они отличаются очень разреженной матрицей контроля четности в поле Галуа $GF(q)$. Эта матрица H состоит из M независимых строк и N столбцов. Из матрицы H , генераторная матрица G^T может быть построена так, что строки матрицы H порождают нулевое пространство в матрице G^T , т.е. $H * G^T = 0$. В этой статье мы считаем коды LDPC нерегулярными, расширение двоичного поля Галуа: $GF(q = 2^b)$, хотя данный алгоритм может быть применен и к другим конечным полям. Блок из $K * b$ битов преобразуется в последовательность из K элементов $GF(2^b)$ согласно некоторому отображению $\varphi: (GF(2))^b \rightarrow GF(2^b)$, Полученное информационное слово $b \in (GF(2^b))^K$, кодируется с использованием генераторной матрицы. Результатом является кодовое слово $c \in C$, где C – множество кодовых слов. Известно, что C является линейным подмножеством $(GF(2^b))^N$. В матричной форме: $c = G^T * b$.

Легко показать, что $c \in C \Leftrightarrow (s =) Hc = 0$.

Элементы s и c называются проверками и символами соответственно. Если проверка равна нулю, то символ, связанный с данной проверкой, удовлетворяет этой проверке. Кодовое слово отображается на сигнальное созвездие Ω , в результате получается вектор t . Предполагается передача сигнала с модуляцией BPSK, хотя также возможно отображение на созвездия более высоких порядков. Таким образом, $\psi: GF(q) \rightarrow \Omega^b$, причем $\Omega = \{-1, +1\}$ такое что $\psi(c_k) = [t_{kb}, \dots, t_{(k+1)b-1}]^T$ где $t_i \in \Omega$.

Когда вектор t передается по каналу AWGN, он искажается шумом. На приемной стороне имеется вектор $x = t + n$, где n – действительный вектор отсчетов гауссова шума с мощностью $\sigma^2 = N_0 / (2 \cdot E_b \cdot K / N)$, где E_b/N_0 – отношение сигнал-шум на бит, а K/N – кодовая скорость.

Библиографический список

1. R.G. Gallager. "Low density parity-check codes". IRE Trans. Inform. Theory, IT-8:pp. 21–29, Jan. 1962.
2. H. Wymeersch, H. Steendam and M. Moeneclaey. "Log-domain decoding of LDPC codes over $GF(q)$ ". IEEE Xplore Conference: Communications, 2004 IEEE International Conference on, Volume: 2.
3. J. Berkmann. "On turbo decoding of nonbinary codes". IEEE Comm. Letters, 2(4):94–96, April 1998.

СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ»

УДК 004.657; ГРНТИ 20.23.17

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАПРОСОВ К ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ IEC 61499 НА ЯЗЫКЕ ПРОЛОГ

В.Н. Дубинин*, А.В. Дубинин*, Л.П. Климкина**, А.С. Войнов*, В.В. Вяткин***

* Пензенский государственный университет,
Россия, Пенза, dubinin.victor@gmail.com

** Пензенский государственный аграрный университет,
Россия, Пенза, ludmila.klimkina@gmail.com

*** Технический университет Лüleо,
Швеция, Лüleо, valeriy.vyatkin@ltu.se

Аннотация. В статье предлагается представление моделей функциональных блоков (ФБ) международного стандарта IEC 61499 и выполнение запросов к ним на языке Пролог. Исходным пунктом для создания Пролог-базированной модели является OWL-онтология ФБ. Рассматриваются запросы логического типа и запросы на перечисление.

Ключевые слова: выполнение запросов, онтология, Пролог, IEC 61499, функциональные блоки.

REPRESENTING AND QUERYING AN ONTOLOGICAL MODEL OF IEC 61499 FUNCTION BLOCKS USING PROLOG

V.N. Dubinin*, A.V. Dubinin*, L.P. Kimkina **, A.S.Voinov*, V.Vyatkin***

* Penza State University,
Penza, Russia, dubinin.victor@gmail.com

** Penza State Agricultural University,
Penza, Russia, ludmila.klimkina@gmail.com

*** Lulea University of Technology,
Sweden, Lulea, valeriy.vyatkin@ltu.se

Abstract. This paper proposes a representation of IEC 61499 function blocks (FB) models and querying them using Prolog language. The starting point for creating the Prolog-based model is an FB OWL-ontology. Logical and enumeration requests are considered.

Keywords: querying, ontology, Prolog, IEC 61499, function blocks.

В связи с широким внедрением в IT-сфере методологий программирования, основанных на моделях (например, [Model-Driven Engineering (MDE), Model Integrated Computing, Model Centered Design]), возникает потребность в формулировке и выполнении запросов (querying), относящихся к данным моделям. Следует отличать формулировку и выполнение запросов по отношению: 1) к статике и 2) динамике моделей. Если запросы первого типа ориентированы в итоге на структурные свойства, то последние - на свойства, касающиеся поведения системы. Типичным примером системы для запросов второго типа является nuSMV [1]. В данном инструментальном средстве, основанном на методе model checking, модель представляется в виде структуры Крипке на специальном языке, а запросы относительно поведения системы формулируются на основе временных логик LTL и CTL. Алгоритмы вычисления логических запросов, основанных на временной логике CTL, рассмотрены, например в [2]. Можно предположить существование и некоего гибридного типа запросов, которые анализируют структурно-динамические свойства системы на основе ограниченного учета динамики (например, всего на несколько шагов функционирования). В литературе под термином «querying» обычно понимают запросы первого вида. На этих элементарных запросах строятся более сложные действия, связанные, например, с проверкой консистентности, поиском исходных паттернов для трансформации моделей, измерением сложности на основе различных метрик [3].

Как отмечено в работе [3], современные средства и интерфейсы для формулировки и выполнения запросов или ограничены в их выразительности, или требуют высокого уровня знаний метамodelей и/или языков запросов. Для решения этой проблемы было предложено несколько решений. Для формулировки запросов к UML-моделям в работе [4] предлагается язык объектных ограничений OCL. В работе [5] разработано средство для формулировки запросов на основе логик, включая логику предикатов первого порядка и дескриптивную логику. В рамках данного подхода можно менять границу между эффективностью выполнения и выразительностью запросов. В работах [3,4] для представления UML-моделей и формулировки запросов предлагается язык логического программирования Пролог, а также инструментальная система MQ-2 на его основе [6]. Преимуществом языка Пролог является наличие встроенного механизма логического вывода. Среди других областей использования Пролога в методологии MDE можно отметить проверку консистентности UML-моделей [7] и детектирование клонов в UML-моделях [8].

Особое место занимает разработка управляющего программного обеспечения (ПО) для систем промышленной автоматизации. К данному виду ПО предъявляются повышенные требования по надежности и быстродействию, а также интерфейсам с оборудованием, что влечет за собой использование моделей, отличных от используемых в разработке «традиционного» ПО. В настоящее время один из наиболее перспективных подходов к построению систем управления промышленными процессами предлагает международный стандарт IEC 61499 [9]. В настоящее время не существует четко определенных средств поддержки для формирования и выполнения сложных запросов к моделям функциональных блоков (ФБ) стандарта IEC 61499, что определяет актуальность представленного исследования. Ниже приводится краткий обзор в этой области.

В работе [10] предложено табличное представление ФБ и использование языка SQL как языка запросов. Недостатком подхода является неадекватность реляционной модели данных для представления слабоструктурированной информации. В работе [11] предлагается использование языка XQuery для формирования запросов. Это довольно привлекательный подход, поскольку язык XQuery работает с XML-представлением, которое является стандартным в IEC 61499 [12]. Недостатком подхода является то, что XML в принципе ориентирован на представление синтаксической информации, поэтому глубинное извлечение информации невозможно. Использование языка XSLT, рассмотренное в работе [13], в определенной мере напоминает предыдущий подход, но результат получается более сложным путем - применением правил трансформации. В работе [14] предложена онтологическая модель ФБ, основанная на стандартном XML-описании ФБ [12], а также метод семантического анализа описаний ФБ на основе языка SQWRL. В работах [15-18] использовалась расширенная и более точная онтологическая модель, заменяющая неявные зависимости по атрибутам на явные. Кроме того, расширенная онтология включает зависимости по данным и управлению алгоритмов и условий переходов базисных ФБ, не определяемые Стандартом. Данная онтологическая модель использовалась для формулировки и выполнения структурных запросов на языке OWL DL [16], в том числе сложных запросов о наличии циклов в системе ФБ [17]. Для той же модели язык SWRL использовался для составления и выполнения сложного запроса о распределении ФБ по ресурсам [18]. Несмотря на привлекательность использования онтологических языков для формулировки и выполнения запросов, их выразительность ограничена ввиду ориентации онтологических систем семантического Web на эффективность ризонинга. В этой связи перспективным направлением видится в использовании языка Пролог, не ограниченного рамками логических моделей, имеющего способность к самомодификации программ и поддерживающего парадигму «закрытого мира».

В ряде работ были предложены модели ФБ на основе языка Пролог. В работе [19] Пролог-базированные модели ФБ использовались для верификации, где в качестве языка запросов использовалась временная логика CTL, интерпретируемая на Прологе. В работе [20]

предложено Пролог-представление ФБ, пригодное для моделирования динамики, в том числе для имитационного моделирования. В работе [21] рассмотрен подход к проектированию цифровых подстанций IEC 61850 на основе трансформации онтологий с использованием языка Пролог.

В данной работе предлагается представление моделей ФБ стандарта IEC 61499, формулирование запросов и выполнение этих запросов на языке Пролог. В качестве инструментального средства выбрана система SWI Prolog [22] ввиду ее постоянного развития и усовершенствования. Исходным пунктом для создания Пролог-модели является OWL-онтология ФБ, разработанная на основе блока DTD, определенного во второй части стандарта IEC 61499 [12]. Для автоматизации преобразования OWL-онтологии ФБ в Пролог-представление использовалась библиотека Thea [23]. Данный подход был успешно использован, в частности, в работах [14,21]. Не вдаваясь в подробности, можно отметить следующие особенности Пролог-базированного представления онтологии ФБ. Для вычисления запросов используется только A-Box онтологии (утверждения об экземплярах)[25]. Терминологический словарь (T-Box) используется только при составлении запросов. Классы представляются в виде унарных предикатов, причем имя предиката определяет имя класса, а аргумент предиката – идентификатор экземпляра этого класса (индивидуала). Примеры определения экземпляров классов: 'FB'('LN0_1') – экземпляр ФБ LN0_1; 'FBType'('LN0') – тип ФБ LN0; 'Event'('LN0_INIT') – событийный вход/выход LN0_INIT; 'Connection'('C1') – связь C1. Объектные свойства (object properties) и свойства по данным (data type properties) представляются в виде бинарных предикатов, причем имя предиката определяет имя свойства, первый аргумент – субъект, второй аргумент – объект (в терминологии RDF-триплетов). В отличие от объектного свойства, аргументами которого являются идентификаторы экземпляров, вторым аргументом свойства по данным является значение данных из определенного домена (например, из домена целых чисел).

Примеры интерпретации описаний свойств:

has_FB_Type('LN0_1', 'LN0') - экземпляр ФБ LN0_1 имеет тип LN0;

has_InterfaceList('LN0', 'LN0_Int') – тип ФБ LN0 имеет интерфейсный список LN0_Int;

has_Connection_Source('C1', 'LN0_1.EOK') – связь C1 исходит из выхода EOK экземпляра ФБ LN0_1.

В качестве примера рассмотрим следующий простой запрос логического типа на естественном языке: «Все ФБ в каждой сети ФБ имеют различные имена». При представлении запроса на языке Пролог использовались следующие аксиомы OWL-онтологии в нотации системы Protégé [24]:

FBNetwork has_FB min 0 FB (сеть ФБ может иметь ФБ)

FB has_FB_name exactly 1 CDATA (ФБ имеет одно имя символического типа)

Реализация данного запроса на языке Пролог приведена ниже:

all_FBs_in_FBNetworks_have_distint_names:-

forall('FBNetwork'(Net), fbs_in_FBNetwork_have_distint_names(Net)).

fbs_in_FBNetwork_have_distint_names(Net):-

findall(FbName, has_FB_Name2(Net, IdFbInst, FbName), L), unique(L).

has_FB_Name2(Net, IdFbInst, FbName):-

has_FB(Net, IdFbInst), has_FB_Name(IdFbInst, FbName).

unique([]):-!.

unique([Head|Tail]):- member(Head, Tail), !, fail; unique(Tail).

Предикат верхнего уровня *all_FBs_in_FBNetworks_have_distint_names* определяет основную цель запроса. Он использует встроенный предикат *forall/2*, который вычисляет, для всех ли альтернативных конкретизаций переменных первого аргумента второй аргумент может быть доказан. Предикат *fbs_in_FBNetwork_have_distint_names(Net)* определяет, все ли ФБ в заданной сети *Net* имеют различные имена. Он использует встроенный предикат

`findall/3`, который собирает все решения заданной внутренней цели и помещает их в список. Предикат `has_FB_Name2` используется для определения имени ФБ в заданной сети ФБ. Этот предикат использует отображение идентификатора экземпляра ФБ на имя экземпляра ФБ в форме предиката `has_FB_Name`. Предикат `unique` используется для проверки уникальности элемента в списке.

Рассмотрим в качестве примера запрос на перечисление: «Найти типы ФБ, в которых имеются специфицированные событийные входы». Событийные входы должны быть представлены в виде списка, ответ также должен выдаваться в виде списка.

Используемые аксиомы OWL-онтологии:

FBType has_FBType_Name exactly 1 CDATA (тип ФБ имеет одно имя)

FBType has_InterfaceList exactly 1 InterfaceList (тип ФБ имеет один интерфейс)

InterfaceList has_EventInputs some EventInputs (интерфейс имеет несколько событийных входов)

EventInputs has_Event min 1 Event (должен быть хотя бы один событийный вход)

Event has_Event_Name exactly 1 CDATA (событийный вход имеет одно имя)

Реализация запроса на Прологе следующая.

```
find_FB_types_where_exist_needed_event_inputs(EventList, FBTNames):-
    findall(FBTName,
        fb_type_where_exist_needed_event_inputs(EventList, FBTName), FBTNames).
fb_type_where_exist_needed_event_inputs([], _):-!.
fb_type_where_exist_needed_event_inputs(EventList, FBTName):-
    has_FBType_Name(FBT, FBTName), 'FBType'(FBT), has_InterfaceList(FBT, IL),
    has_EventInputs(IL, EIs), has_Event(EIs, Ev), has_Event_Name(Ev, EvName),
    atom_string(EvName, EvNameStr), EventList=[EvNameStr | Tail],
    fb_type_where_exist_needed_event_inputs(Tail, FBTName).
```

Возможные цели (запросы) на языке Пролог:

```
find_FB_types_where_exist_needed_event_inputs(["INIT","REQ"], FBTNames).
fb_type_where_exist_needed_event_inputs(["INIT","REQ"], 'LN0').
fb_type_where_exist_needed_event_inputs(["INIT","REQ"], X).
```

Кроме приведенных выше запросов были составлены следующие: «Найти сети ФБ, в которых не все ФБ имеют разные имена», «Существует единственная система ФБ в описании конфигурации, и эта система ФБ имеет уникальное имя», «Все приложения в системе имеют уникальные имена», «Каждое приложение имеет единственную сеть ФБ», «Все устройства в системе имеют уникальные имена», «Каждый ФБ из приложения или субприложения должен быть распределен на некоторый ресурс», «Каждый ФБ из приложения или субприложения отображается на однотипный ФБ на ресурсе», «Каждый ФБ имеет по крайней мере один событийный вход», «Перечислить ФБ, которые не имеют событийных входов», «Перечислить все ФБ, которые входят в событийные циклы», «Построить отношение достижимости между ФБ на основе событийных путей длиной больше чем N», «Перечислить все событийные пути между двумя ФБ, заданными своими идентификаторами».

Направлением дальнейших исследований является формулировка запросов, связанных с проверкой консистентности, поиском исходных паттернов для трансформации моделей, измерением сложности на основе различных метрик, а также «гибридных» запросов для анализа структурно-динамических свойств системы. Кроме того, представляет интерес распределенная реализация машины выполнения запросов на основе Пролог-базированных Web-сервисов [26], включающих механизм логического вывода, способы распараллеливания выполнения запросов, проблемы синхронизации и взаимодействий в системе.

Библиографический список

1. Cimatti A. et al. NuSMV 2: An OpenSource Tool for Symbolic Model Checking // Computer Aided Verification. CAV 2002. Lecture Notes in Computer Science, vol. 2404. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. - pp 359-364.
2. Дубинин В.Н. Вычисление логических запросов, основанных на временной логике / Пенз. гос. техн.ун-т. - Пенза, 1996. - 54 с. - Деп. В ВИНИТИ 14.02.96, № 488-B96
3. Störkle H. A PROLOG-based Approach to Representing and Querying Software Engineering Models // 2007 IEEE Symposium on Visual Languages and Human Centric Computing (VL/HCC 07), Idaho, USA – pp. 71-83.
4. Chimia-Opoka J., Felderer M., Lenz C., Lange C. Querying UML models using OCL and Prolog: A performance study // IEEE International Conference on Software Testing Verification and Validation Workshop (ICSTW 2008), 2008. - pp. 81–88.
5. Dohrmann P., Herold S. Designing and Applying a Framework for Logic-Based Model Querying // 2010 36th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), 2010. - pp. 164–171.
6. Acretoae V., Störkle H. MQ-2 A Tool for Prolog-based Model Querying. // Proc. 8th European Conference on Modelling Foundations and Applications (ECMFA 2012). - pp. 328-331.
7. Khai Z., Nadeem A., Lee G. A Prolog Based Approach to Consistency Checking of UML Class and Sequence Diagrams // Int. Conf. on Advanced Software Engineering and Its Applications (ASEA 2011): Software Engineering, Business Continuity, and Education, Springer. - pp 85-96
8. Störkle H. Towards Clone Detection in UML Domain Models // Software & Systems Modeling, Volume 12, Issue 2, 2013. - pp 307–329.
9. Vyatkin V. IEC 61499 as enabler of distributed and intelligent automation: State-of-the-art review // IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, no. 4, 2011. - pp. 768–781.
10. Дубинин В.Н. Создание информационных систем для поддержки проектирования на основе функциональных блоков IEC 61499 // Материалы V Международной науч.-техн. конф. “Новые информационные технологии и системы” (НИТС’2002). – Пенза, 2002. – С.34-37.
11. Дубинин В.Н., Климкина Л.П. Изучение XML-технологий на примерах систем промышленной автоматизации // Университетское образование (МКУО-2006): Сборник статей Международной научно-методической конференции, Пенза, 2006. – с.442-444.
12. International Standard IEC 61499. Function blocks for industrial-process measurement and control systems (edition 2.0). Part 2: Software tool requirements / International Electrotechnical Commission. – Geneva, 2012. – 97 p.
13. Дубинин В.Н., Климкина Л.П. XSLT-преобразования систем функциональных блоков // Сб. статей XVII Международной научно-методической конференции “Университетское образование”. - Пенза, 2013. - С. 102-104.
14. Dai W., Dubinin V., Vyatkin V. Automatically Generated Layered Ontological Models for Semantic Analysis of Component-Based Control Systems // IEEE Transactions on Industrial Informatics. . – 2013. Vol. 9, Issue 4. – P. 2124-2136.
15. Dubinin V., Vyatkin V. Ontology and semantic analysis of IEC 61499 function blocks // DOI: 10.13140/RG.2.1.4742.5366, Auckland, 2011. – 20 p.
16. Дубинин В.Н., Вяткин В.В. Онтология функциональных блоков стандарта IEC 61499 // Труды Международной научно-технической конференции “Современные информационные технологии”, Пенза, 2010, вып.12. – С. 113-126.
17. Дубинин В.Н., Вяткин В.В. Обнаружение циклов в системах функциональных блоков IEC 61499 с использованием онтологий // Труды Международной научно-технической конференции “Современные информационные технологии”, Пенза, 2011, вып.13. – С. 149-161.
18. Дубинин В.Н., Вяткин В.В. Семантический анализ описаний систем управления промышленными процессами на основе стандарта IEC 61499 с использованием онтологий // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 3 (15). – С. 3–15.
19. Dubinin V., Vyatkin V., Hanisch H.-M. Using Prolog for Modelling And Verification of IEC 61499 Function Blocks and Applications // 11th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2006), Proceedings, Prague, Czech Republic, 2006. - P.774-781.
20. Войнов А.С., Сенокосов И.В., Дубинин В.Н. Представление функциональных блоков на языке Пролог // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы Сб. науч. статей Всероссийской межвузовской науч.-практ. конф., 2018. – С. 5-7.
21. Yang C.-W., Dubinin V., Vyatkin V. Ontology Driven Approach to Generate Distributed Automation Control from Substation Automation Design // IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017, Volume 13, Issue 2, pp. 668-679.
22. SWI Prolog [Электронный ресурс]. <http://www.swi-prolog.org/>
23. Thea: A Prolog library for OWL2 [Электронный ресурс]: <http://www.semanticweb.gr/thea/index.html>
24. Protégé [Электронный ресурс]. <https://protege.stanford.edu>

25. Mkrttchian V. S., Graumann O., Ponomariova O.N. TRIPLE H-AVATAR cloud platform based plug-ontology as a gateway to improvement of feedback control // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Гуманитарные науки. – 2014. – № 2 (30). – С. 178–195.

26. Антонов А. С., Крижановский А.А. Создание веб-сервисов на языке Пролог //Труды СПИИРАН. – 2007. – №. 5. – С. 66-70.

УДК 004.8

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ ЛЕСА РЕШАЮЩИХ ДЕРЕВЬЕВ

М.С. Ивкина

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, maria.ivkina996@gmail.com*

Аннотация. В данной работе описаны методы решающих деревьев и случайного леса для решения задачи классификации данных и описание возможного определения времени, затрачиваемое на подбор параметров.

Ключевые слова: классификация данных, решающие деревья, случайный лес, подбор параметров.

SELECTION OF OPTIMAL PARAMETERS OF CLASSIFIER BASED ON RANDOM FOREST

M.S. Ivkina

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, maria.ivkina996@gmail.com*

The summary. This paper describes the methods of decision trees and random forest for solving the problem of data classification and a description of the possible determination of time spent on the selection of parameters.

Keywords: data classification, decision trees, random forest, selection of parameters.

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, объективных и полезных на практике закономерностей, которые обнаруживаются стандартными методами обработки информации или экспертным путем [2].

Классификация – это логическая закономерность, позволяющая делать вывод относительно определения характеристик конкретной группы, процесс упорядочения или распределения объектов по классам с целью отражения отношений между ними [3].

Решающее дерево

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, задаваемый на последующем иерархическом уровне зависят от ответа, полученного на предыдущем уровне [4].

Построение дерева начинается с корня, точнее с нахождения оптимального признака с учетом значения индекса неоднородности 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.

Решающий 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. Данный метод основан на бэггинге – на способе построения композиций классификаторов, при котором классификаторы обучаются независимо друг от друга [2, 5].

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. В задачах классификации решение принимается голосованием по большинству [1].

Повышение качества классификации

Обычно повышение качества классификации получают за счет подбора оптимальных значений параметров алгоритма классификации. В этом случае может быть использован алгоритм подбора по сетке или, например, некоторый эволюционный алгоритм оптимизации.

Основные параметры метода основанном на лесе решающих деревьев:

- число деревьев;
- индекс неоднородности, которая измеряет качество разбиения ветки дерева;
- число признаков, по которым ищется разбиение;
- максимальная глубина дерева;
- минимальное число объектов в листе.

Ручное изменение каждого параметра нецелесообразно по разным причинам, например, большое количество совокупностей параметров.

Методы поиска оптимальных параметров

Метод поиска по сетке – простейший метод поиска значений параметров по какому-либо критерию.

Метод делает полный перебор по заданному подмножеству пространства параметров обучающего алгоритма. Он сопровождается измерением показателя качества модели, с помощью перекрёстной проверки на обучающей выборке или проверке на контрольной выборке. Метод применяется как к дискретным, так и к непрерывным и смешанным значениям.

Случайный поиск заменяет полный перебор значений по сетке всех комбинаций на выборку, образованную случайным образом. Случайный поиск может превосходить поиск по решётке в случае, если малое число параметров оказывает влияние на производительность алгоритма обучения.

Байесовская оптимизация – это метод, основанный на вероятностной модели, для нахождения экстремума любой функции. Применительно к поиску оптимальных параметров байесовская оптимизация строит стохастическую модель функции отображения из значений параметра в целевую функцию, применённую на множестве проверки. Путём применения конфигурации параметров, основанной на текущей модели, а затем её обновления, байесовская оптимизация стремится собрать как можно больше информации об этой функции и месте оптимума. Метод пытается сбалансировать зондирование (параметры, для которых изме-

нение наименее достоверно известно) и использование (параметры, которые, как ожидается, наиболее близки к оптимуму).

Рой частиц (PSO) представляет собой вычислительный метод, который оптимизирует функцию путем улучшения кандидат переменных, дающих лучшее значение функции при каждой итерации. Метод находит оптимальное значение, имея совокупность возможных решений-частиц и перемещая эти частицы в пространстве поиска по нескольким формулам, использующих положение и скорость частицы. На движение каждой частицы влияет ее положение, дающее лучшее значение целевой функции, но оно также направляется к положению с лучшим значением функции в пространстве поиска, которые обновляются по мере того, как другие частицы находят лучшие значения.

Так как пространство параметров модели для некоторых параметров может включать пространства с вещественными или неограниченными значениями, необходимо вручную устанавливать границу поиска до применения любого из методов подбор оптимальных параметров.

Проблемы при подборе параметров

Основными проблемами при нахождении оптимальных параметров любого классификатора являются выбор диапазона значений параметра, в котором ищется лучшее значение, и время, которое требуется для нахождения значений.

Все описанные выше методы строят множество моделей и вычисляют значение метрики, которую необходимо максимизировать. Зачастую этот процесс может занимать продолжительное время, но не известно сколько именно. На это влияют диапазоны значений, в которых будет искаться оптимальное значение, то есть, чем больше сочетаний параметров, тем больше времени потребуется на подбор значений. Так же время построения модели зависит от обучающей выборки. Бывают случаи, когда необходимо узнать время, за которое будут найдены оптимальные значения.

Вариант решения

Параметры наиболее сильно влияющие на время построения модели:

- число деревьев;
- число признаков, по которым ищется разбиение;
- максимальная глубина дерева;
- минимальное число объектов в листе.

Именно эти параметры наиболее часто настраиваются и наиболее сильно влияют на качество классификатора.

Предположим, что каждый параметр по-своему влияет на время построения.

Данное предположение проверяется на выборке (таблица 1). Значения параметров будут изменяться равномерно в определенных границах (таблица 2).

Таблица 1. Описание выборки

Название	Число классов	Число признаков	Объем обучающей выборки	Объем тестовой выборки
bank-additional	2	20	32 951	8 237

Таблица 2. Изменение значений параметров

Число деревьев	Число признаков	Глубина дерева	Минимальное число объектов в листе
10	1	1	100
20	2	2	200
...	...	...	...
200	20	20	2000

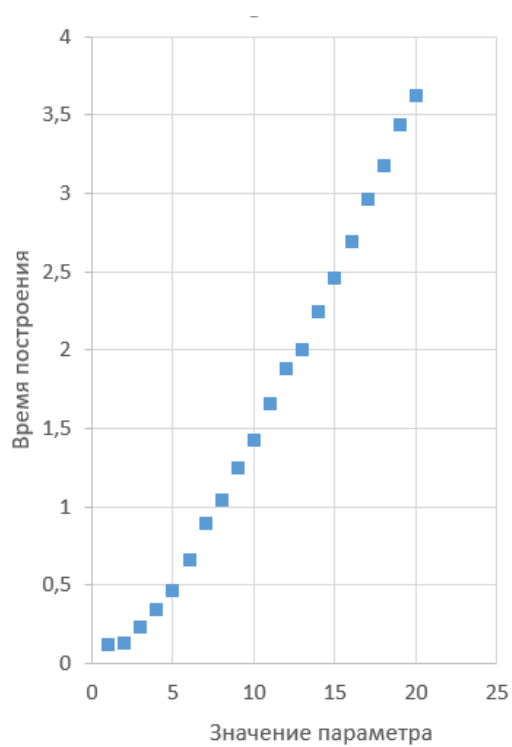


Рис. 1. Зависимость времени от увеличения значений всех параметров

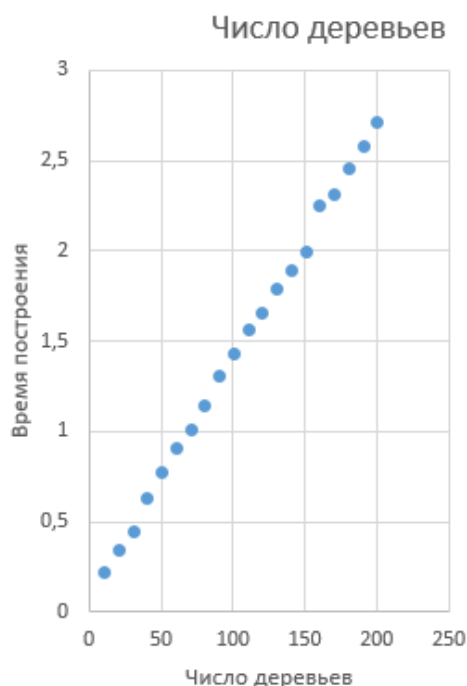


Рис. 2. Зависимость времени от увеличения числа деревьев

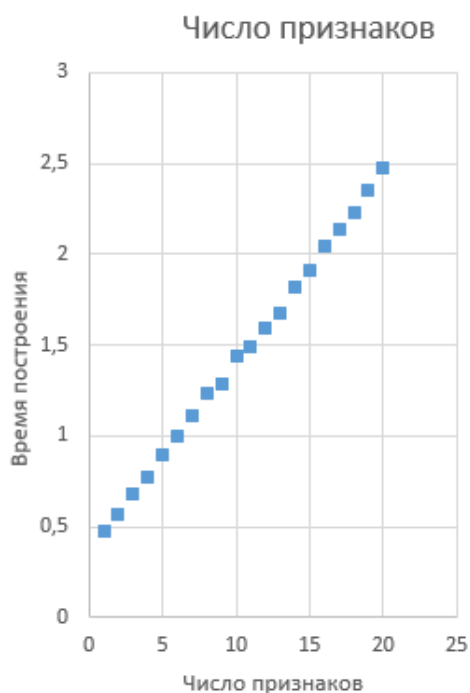


Рис. 3. Зависимость времени от увеличения числа признаков

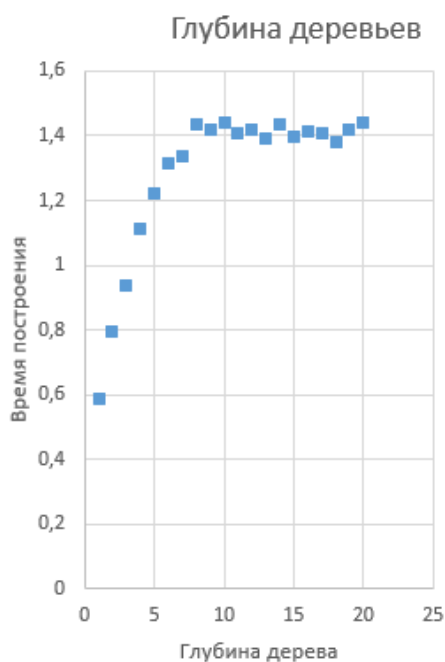


Рис. 4. Зависимость времени от увеличения глубины деревьев

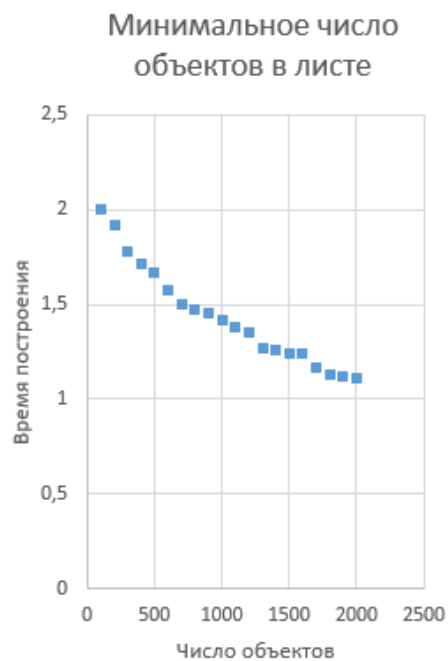


Рис. 5. Зависимость времени от увеличения минимального числа объектов в листе

Построив графики зависимости времени построения от всех параметров (рис.1) и от каждого параметра по отдельности со средними значениями остальных параметров (рис. 2-5), можно сказать, что наибольшее влияние на время построение оказывают параметры: число деревьев в лесу и число признаков. Глубина деревьев и минимальное количество объектов в листе влияют на время построение модели только в определенном диапазоне значений своих значений, далее время при изменении этих параметров меняется не значительно в окрестности одного временного значения.

Из этого следует, что временную зависимость можно выявить и описать уравнением функции, в которой будут переменные, обозначающие значение параметра.

Библиографический список

1. Ивкина М.С. Решение задачи классификации на основе случайного леса // Прикладные исследования и технологии ART2018: Сборник трудов региональной конференции ART2018. 2018. С. 79-87.
2. Чистяков С. П. Случайные леса: обзор – Труды Карельского научного центра РАН № 1. 2013.
3. Demidova L., Klyueva I., Sokolova Y., Stepanov N., Tyart N. Intellectual Approaches to Improvement of the Classification Decisions Quality on the Base of the SVM Classifier // Procedia Computer Science 2017. P. 222-230.
4. Dahan, H., Cohen, S., Rokach, L., Maimon, O. Proactive Data Mining with Decision Trees – Springer-Verlag New York, 2014.
5. Saffari A., Leistner C., Jakob Santner J. et al. On-line Random Forests – 3rd IEEE ICCV Workshop on On-line Computer Vision, 2009.

УДК 510; ГРНТИ 27.35

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ПОЛНЫХ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Г.С. Орлов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, gen.orlov2016@yandex.ru*

Аннотация. В работе описывается процедура построения функции принадлежности нечёткого множества на базе теории полных нечётких множеств для задач обработки социологических данных. Рассматривается тестовый пример формирования группы административного резерва.

Ключевые слова: нечёткие множества, функция принадлежности, обработка социологических данных, административный резерв.

CONSTRUCTING OF FUNCTION OF BELONGING ON THE BASE COMMON FUZZY SETS IN TASKS OF TREATMENT OF SOCIOLOGICAL DATAS

G.S. Orlov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, gen.orlov2016@yandex.ru*

The summary. The paper describes procedure of constructing of function of belonging of fuzzy set on base of the theory of common fuzzy sets for tasks of treatment of sociological data. The paper shows test example of constructing of the group of the reserve of administration.

Keywords: fuzzy sets, function of belonging, the treatment of sociological data, the reserve of administration.

Напомним классическое определение нечёткого подмножества чёткого множества, введённого Заде [1], и функции принадлежности. Пусть [2] E есть множество, счётное или нет, и x - элемент E . Тогда *нечётким подмножеством* A множества E называется множество упорядоченных пар $\{(x | \mu_A(x))\}$, для $\forall x \in E$, где $\mu_A(x)$ - степень принадлежности x в A . И далее [2], функция $\mu_A(x)$ - *характеристическая функция принадлежности*, принимающая свои значения во вполне упорядоченном множестве M . Множество M будем называть *множеством принадлежности*.

Как известно, основной проблемой, при использовании теории нечётких множеств для решения практических задач, является проблема построения (определения, задания) функции принадлежности. Например, цитируем [3]: «Наиболее уязвимым для критики во-

просом теории нечётких множеств является вопрос о методе построения главной характеристики нечёткого множества – функции принадлежности. ... Основной класс методов построения функций принадлежности – методы экспертных оценок. ... В литературе выделяют два основных метода построения функции принадлежности – прямой и косвенный. Прямой метод. При определении нечёткого множества эксперт или эксперты просто задают значение функции принадлежности для каждого значения универсума. Косвенный метод. Если у формируемого объекта имеются измеримые свойства, то используют косвенные методы построения. К таким методам, например, относят метод попарных сравнений на конечных дискретных множествах. ... Построение функции принадлежности скорее является не математической, а психологической проблемой, связанной с индивидуальным восприятием свойств объектов. ... В дальнейшем мы будем считать, что выбор той или иной функции принадлежности обоснован и функция задана».

Таким образом, проблема действительно существует. Особенно острый характер она приобретает в задачах обработки социологических данных, полученных в ходе анализа различных первичных источников (например, анкет, личных дел и т.п.), а также в результате социологических опросов. Как правило, никакие косвенные методы здесь не применимы.

Однако нельзя согласиться с тем, что «построение функции принадлежности ... является не математической проблемой». Покажем на примере решения задачи формирования группы кадрового резерва, что теория полных нечётких множеств [4] позволяет методами математики формализовать процесс задания функции принадлежности при анализе социологических данных.

Допустим, что Министерство образования какой-либо области РФ поставило перед собой задачу формирования группы кадрового резерва для наиболее значимых должностей в сфере образования области (директора школ, колледжей, ректоры вузов, начальники региональных (городских, районных) управлений образования, министр образования, заместители министра образования и т. д.). Логично предположить, что группа кадрового резерва для системы образования будет формироваться из жителей данного конкретного региона, профессиональная деятельность которых имеет какое-то отношение к образованию. Будем считать, что все такие лица составляют универсальное множество U . Предположим, что на каждый элемент множества U в распоряжении комиссии по формированию группы кадрового резерва имеется информация, характеризующая его профессиональную подготовку, занимаемые им в разное время должности, его достижения в труде, его награды, взыскания и т.п. Нетрудно также получить информацию о личных качествах данного лица, об отношении к нему в коллективе, об отношении к нему подчинённых и учащихся. В дальнейшем будем считать, что вся необходимая нам информация (обладающая той или иной степенью достоверности) у нас имеется.

Группу кадрового резерва будем формировать в виде полного нечёткого подмножества множества U . В соответствии с [4], под конечным полным множеством A будем понимать объект вида $A = [O_{i_1}^A, O_{i_2}^A, \dots, O_{i_n}^A | P_A(O)]$, где каждый из объектов $O_{i_j}^A$ ($j = \overline{1, n}$) является элементом множества A .

Поясним, что объект $O_{i_j}^A \in U$ является элементом множества A , если [4] он удовлетворяет каждому из условий ω_k^A ($k = \overline{1, m}$) правила $P_A(O) \equiv \langle \omega_1^A, \omega_2^A, \dots, \omega_m^A \rangle$ и, кроме того, входит в объём множества A .

Обратим внимание на то, что множество A , вообще говоря, не обязано содержать все объекты множества U , удовлетворяющие условиям ω_k^A ($k = \overline{1, m}$). Допускается ситуация, когда объём множества A пуст, то есть, когда $A = [| P_A(O)]$. В качестве условий

$\omega_k^A (k = \overline{1, m})$ правила $P_A(O)$ зададим условия, которым, в той или иной мере, должен удовлетворять кандидат в группу административного резерва.

Например, $\omega_1^A \equiv$ «иметь соответствующее базовое образование», $\omega_2^A \equiv$ «быть допустимого возраста», $\omega_3^A \equiv$ «иметь опыт педагогической работы» и т. д. Ясно, что выдвигаемые требования обладают разной значимостью (важностью). Поэтому, каждому такому условию $\omega_k^A (k = \overline{1, m})$ сопоставим уровень важности данного условия $\chi_k^A (k = \overline{1, m})$, например, по десятибалльной шкале. Допустим, что $\chi_1^A = 6$ (так как соответствующее базовое образование не слишком критично), $\chi_2^A = 9$ (нежелательно, чтобы кандидат был слишком стар или слишком молод), $\chi_3^A = 8$ (наличие опыта педагогической работы желательно, но не критично) и т. д. В соответствии с [4], потребуем, чтобы выполнялось условие нормировки. Для этого проведём процедуру нормирования и перейдём к величинам $\xi_k^A (k = \overline{1, m})$ равным

$$\xi_k^A = \frac{\chi_k^A}{\sum_{k=1}^m \chi_k^A} (k = \overline{1, m}). \text{ Вектор } \bar{\xi}_A = (\xi_1^A, \xi_2^A, \dots, \xi_m^A) \text{ называется (см. [4]) вектором значимости}$$

условий множества A .

В работе [4] было введено понятие полного нечёткого подмножества. А именно, конечным полным нечётким подмножеством $\tilde{A}$ полного множества $A = [O_{i_1}^A, O_{i_2}^A, \dots, O_{i_n}^A | P_A(O)]$ называется множество $\tilde{A} = [\tilde{O}_{i_1}^A, \tilde{O}_{i_2}^A, \dots, \tilde{O}_{i_n}^A | P_A(O)]$, в котором каждый из объектов $\tilde{O}_{i_j}^A \in U$ может либо удовлетворять, либо не удовлетворять, либо не в полной мере удовлетворять каждому из условий $\omega_k^A (k = \overline{1, m})$ правила $P_A(O)$. Таким образом, формируя группу административного резерва (то есть, множество $\tilde{A}$) мы допускаем включение в неё отдельных лиц, не имеющих соответствующего базового образования. Или лиц, с крайне незначительным опытом педагогической работы. Очевидно, что включать в состав группы административного резерва имеет смысл только тех кандидатов, кто высказал желание на занятие соответствующих должностей. Не стоит заставлять человека выполнять работу, которая ему априори не нравится. Таким образом, в качестве элементов $O_{i_j}^A (j = \overline{1, n})$ полного множества $A = [O_{i_1}^A, O_{i_2}^A, \dots, O_{i_n}^A | P_A(O)]$ будем рассматривать те объекты (всех лиц) из U , которые не против сделать карьеру чиновника в сфере образования. Для каждого такого объекта $O_{i_j}^A (j = \overline{1, n})$ сформируем так называемый (см. [4]) характеристический вектор $\bar{\varsigma}_{i_j} \equiv (\varsigma_1^{i_j}, \varsigma_2^{i_j}, \dots, \varsigma_m^{i_j})$, координаты которого $\varsigma_k^{i_j} \in \{0, \frac{1}{2}, 1\}$ и определяются следующим правилом. Если объект $O_{i_j}^A (j = \overline{1, n})$ полностью удовлетворяет условию $\omega_k^A (k = \overline{1, m})$, то $\varsigma_k^{i_j} = 1$. Если объект $O_{i_j}^A (j = \overline{1, n})$ однозначно не удовлетворяет условию $\omega_k^A (k = \overline{1, m})$, то $\varsigma_k^{i_j} = 0$. Если же лицо, принимающее решение не может высказаться однозначно (ни за, ни против), то $\varsigma_k^{i_j} = \frac{1}{2}$.

В результате (см. [4]) приходим к полному нечёткому подмножеству $\tilde{A}$ полного чёткого множества $A = [O_{i_1}^A, O_{i_2}^A, \dots, O_{i_n}^A | P_A(O)]$:

$$\tilde{A} = [(\tilde{O}_{i_1}^A | (\varsigma_1^{i_1}, \dots, \varsigma_m^{i_1})), (\tilde{O}_{i_2}^A | (\varsigma_1^{i_2}, \dots, \varsigma_m^{i_2})), \dots, (\tilde{O}_{i_n}^A | (\varsigma_1^{i_n}, \dots, \varsigma_m^{i_n})) | P_A(O)],$$

где $P_A(O) \equiv \langle (\omega_1^A | \xi_1^A), (\omega_2^A | \xi_2^A), \dots, (\omega_m^A | \xi_m^A) \rangle$ и $\varsigma_k^{i_j} \in \{0, \frac{1}{2}, 1\}$ ($\forall k = \overline{1, m}$), а $\sum_{k=1}^m \xi_k^A = 1$.

Осталось заметить, что скалярное произведение векторов $\bar{\varsigma}_{i_j} \equiv (\varsigma_1^{i_j}, \varsigma_2^{i_j}, \dots, \varsigma_m^{i_j})$ и $\bar{\xi}_A = (\xi_1^A, \xi_2^A, \dots, \xi_m^A)$, а именно $\bar{\varsigma}_{i_j} \cdot \bar{\xi}_A = \sum_{k=1}^m \varsigma_k^{i_j} \cdot \xi_k^A$, даёт вещественное число из отрезка $[0, 1]$ числовой прямой.

Обозначим его [4] через $\bar{\varsigma}_{i_j} \cdot \bar{\xi}_A \stackrel{\text{def.}}{=} p_{i_j}^A$. Таким образом, каждому элементу $\tilde{O}_{i_j}^A$ ($j = \overline{1, n}$) множества A сопоставляется вещественное число $p_{i_j}^A \in [0, 1]$. Будем считать это число значением функции принадлежности множества A на элементе $\tilde{O}_{i_j}^A$: $\mu_A(\tilde{O}_{i_j}^A) = p_{i_j}^A$ ($\forall j = \overline{1, n}$). И значит, задача построения функции принадлежности решена.

Заметим, что после того, как функция принадлежности задана, полное нечёткое множество A удобно записать в виде $A \approx [(\tilde{O}_{i_1}^A | p_{i_1}^A), (\tilde{O}_{i_2}^A | p_{i_2}^A), \dots, (\tilde{O}_{i_n}^A | p_{i_n}^A) | P_A(O)]$.

В заключение покажем, как пользуясь построенной функцией принадлежности, можно сформировать группу административного резерва. Очевидно, что если какой-то объект $\tilde{O}_{i_j}^A$ (претендент в группу) удовлетворяет всем заявленным условиям ω_k^A ($k = \overline{1, m}$) правила $P_A(O)$, то $\mu_A(\tilde{O}_{i_j}^A) = p_{i_j}^A = 1$ (так как $\varsigma_k^{i_j} = 1$ для $\forall k = \overline{1, m}$ и $\sum_{k=1}^m \xi_k^A = 1$). Следовательно, таких претендентов в группу резерва нужно обязательно брать. Если количество таких лиц недостаточно (или их вообще нет), то понижаем планку. Например, не требуем очень уж строго наличия соответствующего базового образования. То есть, допускаем, что $\varsigma_1^{i_j} = \frac{1}{2}$. При условии, что претендент удовлетворяет всем другим условиям правила $P_A(O)$, получим значение функции принадлежности для данного объекта уже не 1, а $(1 - \varsigma_1^{i_j} \cdot \xi_1^A)$. Если вдобавок, снизить требования к опыту педагогической работы (допускается $\varsigma_3^{i_j} = \frac{1}{2}$), то $\mu_A(\tilde{O}_{i_j}^A) = p_{i_j}^A = 1 - \varsigma_1^{i_j} \cdot \xi_1^A - \varsigma_3^{i_j} \cdot \xi_3^A$ и т.д.

Напомним (см., например, [2]), что если $\alpha \in [0, 1] \subset \mathfrak{R}$, то подмножеством α -уровня нечёткого множества $\tilde{A}$ называется обычное множество $\tilde{A}_\alpha = \{O_A^j | \mu_A(O_A^j) \geq \alpha\}$. Говоря другими словами, группа административного кадрового резерва в нашем случае, не что иное, как подмножеством α -уровня полного нечёткого множества A .

Библиографический список

1. Zadeh L. A. – Fuzzy Setz. Inform. And Control. Vol. 8, pp. 338 – 353. June 1965.
2. Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств. – Москва: Радио и связь, 1982.
3. Конышева Л. К., Назаров Д. М. Основы теории нечётких множеств. – Из-во «ПИТЕР», 2011.
4. Орлов Г. С. Основы теории полных чётких и нечётких множеств: монография. – Рязань, РГРТУ, 2012.

УДК 519.872.6; ГРНТИ 73.01

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕД РАЗРАБОТКИ ПО ТРАНСПОРТНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

Д.С. Савин

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, d.sawin2010@yandex.ru

Аннотация. В работе приведен сравнительный анализ сред разработки по транспортному моделированию согласно отобранным критериям. Приводятся их описание, особенности и функциональные возможности.

Ключевые слова: транспортное моделирование, анализ, транспортный поток, среда разработки, PTV VISSIM, AIMSUN, CORSIM, PARAMICS.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF DEVELOPMENT ENVIRONMENTS FOR TRANSPORT MODELLING

D.S. Savin

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, d.sawin2010@yandex.ru

The Abstract. This paper provides the comparative analysis of development environments for transport modelling. There are their description, features and functional capabilities.

Keywords: transport modelling, analysis, transport flow, development environment, PTV VISSIM, AIMSUN, CORSIM, PARAMICS.

Современное сообщество на сегодняшний момент сталкивается со многими трудностями, осложняющими его жизнедеятельность. Существуют проблемы социального сектора, проблемы экономического упадка, политических конфликтов и экологического состояния планеты. При этом следует помнить, что общество является неделимой системой, где кризис в одной области негативно сказывается на других аспектах жизни народов. Именно такой коллапс мы сейчас можем наблюдать в большинстве городов Российской Федерации. Он связан с транспортными проблемами: пробки, многочисленные аварии, происходящие чуть ли не ежедневно, некачественные дорожные покрытия, нерегулируемые переходы и т.д. Список можно пополнять еще очень долго. Именно эти коллапсы делают применение средств транспортного моделирования актуальными.

Дорожное движение приобретает все больший приоритет как предмет финансирования, особенно в городской среде. Поэтому необходимо проводить моделирование транспортных потоков для лучшего понимания природы возникновения выше описанных коллапсов. В широком смысле слова, моделирование представляется как репрезентация функционирования частей реального мира во времени. Данный инструмент применяется повсеместно для тестирования или оценки планов до их внедрения в эксплуатацию. Многие исследования стали катализатором появления средств транспортного моделирования, сравнения их возможностей.

На данный момент благодаря научно-техническому прогрессу на свет появилось много средств разработки по транспортному моделированию. Их возможности отличаются друг от друга. У каждой есть свои преимущества и недостатки. Однако ошибочного считать какое-либо средство моделирования квинтэссенцией. И все же можно выделить наиболее популярные из них. Это PTV VISSIM, CORSIM, AIMSUN и PARAMICS [1].

Перед тем, как оценивать среды разработки по транспортному моделированию, необходимо выяснить, что же такое транспортное моделирование, какие задачи и функции оно выполняет. Вдаваясь в специфику и глоссарий, можно сформировать меры их оценки.

Итак, транспортное моделирование представляет собой математическую модель или совокупность моделей всей дорожно-транспортной системы или ее части. Оно используется для оценки уже существующих условий, а также для прогнозирования транспортной ситуации в предполагаемых условиях. Возросшее влияние на взаимодействие между транспорт-

ными моделями, выбором маршрута поездки для индивидуальных нужд придало наибольший вес при оценке различных процессов в обществе. Модели могут быть как простыми, например, диаграмма прогнозирования транспортных потоков, так и более сложными; обычно для их создания привлекаются специализированные компьютерные программы, например, для оценки крупномасштабных географических площадей, областей, изолированной схемой транспортного движения в городе, где одновременно курсируют достаточно большое количество видов транспорта.

Чаще всего транспортное моделирование применяется для городов и их агломераций. И здесь оно отвечает на следующие вопросы и решает задачи:

- 1) Каковы будут последствия корректировки функций транспортной системы города, если его внешнее пространство дополнится новыми дорожными элементами: окружные дороги, объездные пути?
- 2) Что произойдет с участком дорожной сети, если в нее будет добавлен новый элемент: линия трамвая, добавление новой полосы движения и т.д?
- 3) При строительстве новых районов города каковы будут изменения в транспортной сети?
- 4) Как изменится интенсивность движения автотранспорта при временном закрытии или ликвидации элемента УДС?
- 5) Что произойдет с системой города, если в транспортную сеть будут внедрены новые ограничения на движение транспорта?
- 6) Каковы будут результаты, если провести автоматизацию процессов управления дорожным движением?

Среды разработки имеют свои особенности. Поэтому выбор критериев должен подчеркивать их функциональность. Для этого были выбраны следующие критерии:

1. Вид моделирования дорожной ситуации;
2. Категория программного обеспечения;
3. Тип работы системы;
4. Форма визуализации;
5. Возможности использования программного кода;
6. Доступность объектов моделирования;
7. Размеры моделируемой системы;
8. Возможность импорта данных из ГИС [2].

Характеристика средств разработки по транспортному моделированию

1. PTV VISSIM

PTV VISSIM разработан компанией PTV (Planung Transport Verkehr AG) в Карлсруэ, Германия. Является частью пакета Vision Traffic Suit, который также включает в PTV Visum (анализ и прогнозирование дорожных заторов) и PTV Vistro (оптимизирование сигнала и влияние на движение). VISSIM является одним из наиболее часто используемых программ для моделирования, оценки и проверки новых транспортных политик и системы управления. VISSIM - это мультимодальный имитатор, который позволяет пользователям применить полный диапазон типов транспортных средств: личные автомобили, автобусы, грузовики, а также рельсовый транспорт различной весовой категории. В нем можно настроить движение пешеходов и велосипедистов.

Одна очень важная особенность VISSIM, которая отличает его от других имитационных средств – это его компонентный интерфейс программирования объектной модели

(COM). COM-интерфейс позволяет исследователям разрабатывать и реализовывать собственные новации в среде VISSIM с использованием таких языков программирования, как C++, Visual Basic или Python. Интерфейс COM обеспечивает разработанные пользователями модели доступом к топологии сети, управлению сигнала, управлению потоками и поведению транспортного средства любой категории, что позволяет VISSIM моделировать сложную логику управления и изолированные транспортные системы и компоненты.

2. AIMSUN

AIMSUN, доступный от TSS-Transport Simulation Systems (Испания), способен воспроизвести реальные условия движения любого транспорта дорожной сети. Среди других средств его используют для тестирования и разработки системы контроля дорожного движения, правилами управления трафиком, регулированием таможенных сборов (в случае использования среды на макро-уровне), системы управления общественным транспортом, движения по тротуарам. Работа AIMSUN может быть совмещена с системой управления транспортом в режиме реального времени, а также другими программными средствами. У него есть много преимуществ над другим программными пакетам. AIMSUN позволяет корректно моделировать различные модели сети в такой же симуляции.

AIMSUN встроен в GETRAM, среду моделирования, состоящую из редактора сети трафика (TEDI), сетевой базы данных, модуля для выполнения моделирования и интерфейса прикладного программного пакета, который направлен на взаимодействие с другими моделями или назначениями. При помощи дополнительной библиотеки функций DLL, расширения GETRAM, модель способна взаимодействовать с внешними пользователем приложениями, такими как логика управления в реальном времени.

3. CORSIM

CORSIM, спонсируемый и разработанный Федеральной администрацией автомобильных дорог, представляет собой программное обеспечение для моделирования трафика для сигнальных систем, дорожных сетей и дорожных систем. Он состоит из интегрированного набора двух моделей, которые представляют среду всего трафика. NETSIM используется для регулирования трафика на дорогах города. FRESIM применяется для движения на дорогах и шоссе. В дополнение к пользовательскому интерфейсу драйвер CORSIM предоставляет доступ к новому процессору выходных данных. Выходной процессор позволяет пользователю накапливать выбранную им статистику и сводные данные во время одновременных запусков CORSIM. Среда записывает собранные данные в книгу Excel, CSV-файл, и/или через вставку Файл.

4. PARAMICS

PARAMICS (PARAllel MICroscopic Simulation, Quandstone Ltd., United Kingdom) — набор программных инструментов для моделирования трафика на микроуровне. Данный пакет широко используется в Великобритании и США. Предназначен для обработки таких разнообразных сценариев, таких как пересечение с перегруженной автомагистралью или моделирование всей системы городского движения. Это помогает дать реалистичное представление ландшафта с 2D и 3D визуализации. В нем есть возможность регулирования движения автобусов, трамваев, а также имитации пешеходов. Модель Paramics представлена комбинацией “узлов, связей и других связанных объектов” для репликации ограничений геометрии реальной жизни. После выхода из “зоны начала движения” каждое транспортное средство пытается завершить свой путь к “зоне назначения”, будучи ограниченным физическими и

динамическими параметрами транспортного средства. Благодаря использованию микросимуляции, Paramics позволяет моделировать отдельные движения транспортных средств, чтобы предсказать будущее поведение модели при изменении объема трафика или геометрической планировки дороги.

Основываясь на практическом использовании и руководствах по применению средств разработки, можно получить следующие выводы по сравнительному анализу сред разработки по транспортному моделированию:

По видам моделирования дорожной ситуации выделяют микро-, мезо- и макро моделирование. Все три вида успешно используются в AIMSUN. В остальных средах возможно лишь использование микро моделирования. У всех сред разработки есть бесплатная студенческая версия, однако они не являются средствами разработки, предназначенными для открытого использования, что делает их использование коммерческим. По типам работы системы выделяют дискретные и непрерывные. AIMSUN сочетает в себе оба подхода, VISSIM непрерывный, а остальные – дискретный. По форме визуализации все среды применяют как 2D, так и 3D визуализацию. Возможности использования программного кода: Vissim предоставляет возможности для написания кода при помощи различных языков программирования (Python, C#, C++, Visual Basic); у остальных сред такой функции пока еще нет. Доступность объектов моделирования: у VISSIM большие преимущества по этому критерию, так как он позволяет регулировать все характеристики транспортных средств, параметры дорог, светофоров, в отличие от других; на втором месте – Paramics, у которого отсутствует возможность детализации транспорта в посадке и высадке пассажиров. По размерам моделируемой системы: AIMSUN позволяет моделировать транспортные потоки региона и страны, но не города; остальные среды – отдельного города и его улиц, а также регионов. Говоря о возможности импорта данных из различных ГИС систем, с уверенностью можно утверждать, что у AIMSUN и VISSIM присутствует такая возможность, чего нельзя сказать о двух оставшихся [3].

Таким образом, оценив важные функциональные возможности каждой из популярных сред разработки по транспортному моделированию, можно прийти к следующему выводу: все они обладают своими особенностями и предназначены для определенных видов моделирования. Именно за разработчиком стоит выбор – какую же из них следует использовать в исследовании. Однако отметим, что VISSIM и AIMSUN по выбранным характеристикам являются наиболее приемлемым вариантом для микро моделирования.

Библиографический список

1. Жанказиев, С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 104 с.
2. Жанказиев, С.В. Становление жизненного цикла локального проекта интеллектуальной транспортной системы / С.В. Жанказиев, Р.Ф. Халилев // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 11. – С. 31–33.
3. Mustapha S., Abdeslam E.F., Abdelbaki E.E A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators - Computer Science Department, ReSI team, Moulay Ismail University, Faculty of Science, 50000 Meknes, Morocco.

УДК 004.9; ГРНТИ 20.51.17

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СФЕРЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК

А.А. Стенищева

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

Аннотация. В настоящей статье представлены идентификация и анализ основных проблем деятельности субъектов малого предпринимательства в сфере проведения государственных закупок, а также предложены пути интеграции их работы на электронных торговых платформах через реализацию проекта бизнес-процесса «веб-помощник» на базе BPM-системы программного пакета Elma в нотации BPMN 2.0.

Ключевые слова: интеграция, бизнес-процесс, информационная система, электронные сервисы, нотация BPMN.

AUTOMATION OF PROCESSES OF ACTIVITY OF SUBJECTS OF SMALL BUSINESS IN THE SPHERE OF STATE PURCHASES

A.A. Stenischeva

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, stenischeva.an@yandex.ru*

Abstract. This article presents the identification and analysis of the main problems of the activities of small businesses in the field of public procurement, and suggests ways to integrate their work on electronic trading platforms through the implementation of the project project "Web Assistant" based on the BPM system of the Elma software package BPMN 2.0 notation.

Keywords: integration, business process, information system, electronic services, BPMN notation.

Система госзакупок постоянно модернизируется и небольшим организациям, которые являются поставщиками в данном секторе, сложно ориентироваться не только в законодательной базе, но и в разнообразных электронных закупочных системах. Например, сегодня активно реализуется политика перевода прямых закупок у единственного поставщика (чаще всего ими являются субъекты малого предпринимательства (СМП), так как прямые договора заключаются на сумму до ста тысяч рублей) в электронный вид через так называемые «Витрины прямых закупок». Рязанская область входит в число областей, где данная программа уже внедрена Распоряжением Правительства Рязанской области № 411-р от 13 сентября 2017 года «Об осуществлении закупок с использованием электронного магазина "Витрина прямых закупок Рязанской области"» [1]. Встав на сторону поставщика, который является субъектом малого предпринимательства и не имеет достаточного опыта работы в сфере госзакупок, становится очевидно, что его риски допустить ошибку при участии в тендере достаточно высоки. Несомненно, этот вопрос требуют пристального внимания, информационного сопровождения и дополнительного обучения поставщиков-СМП, так как они напрямую воздействуют на управление ИТ-стратегией организации в сфере закупок посредством появления новых целей и потребностей бизнеса. Вследствие чего, возникают проблемы с ИТ-инфраструктурой отдела закупок, которая становится неоднородной из-за постоянного резкого обновления обеспечивающих закупочную деятельность приложений и программных компонентов. Поэтому интеграция работы специалистов по закупкам и профильных электронных торговых площадок становится одной из основных сфер развития ИТ-инфраструктуры закупочной деятельности организации.

Таким образом, в результате идентификации и анализа типовых сценариев деятельности коммерческих организаций в лице субъектов малого предпринимательства в сфере госзакупок Рязанской области выявлены следующие проблемы интеграции конкретного работника отдела закупок в компании-поставщика и электронных сервисов проведения тендеров:

– частые изменения законодательной базы;

– большой набор электронных торговых площадок и, как следствие, сложность ориентации в них;

– обучение работе на новых обязательных для использования электронных торговых площадках, например, электронный магазин «Витрина прямых закупок Рязанской области»;

– информационная и техническая поддержка участия в закупочных процедурах.

Решить выявленный спектр проблем можно путем создания «веб-помощника» - специализированного сайта для организаций Рязанской области, которые являются субъектами малого предпринимательства и осуществляют свой заработок непосредственно через участие в электронных закупках для обеспечения государственных и муниципальных нужд. «Веб-помощник» является своего рода модулем информационной системы интеграции между конкретным работником отдела закупок в компании-поставщика и электронными сервисами проведения тендеров, как изображено на рисунке 1.

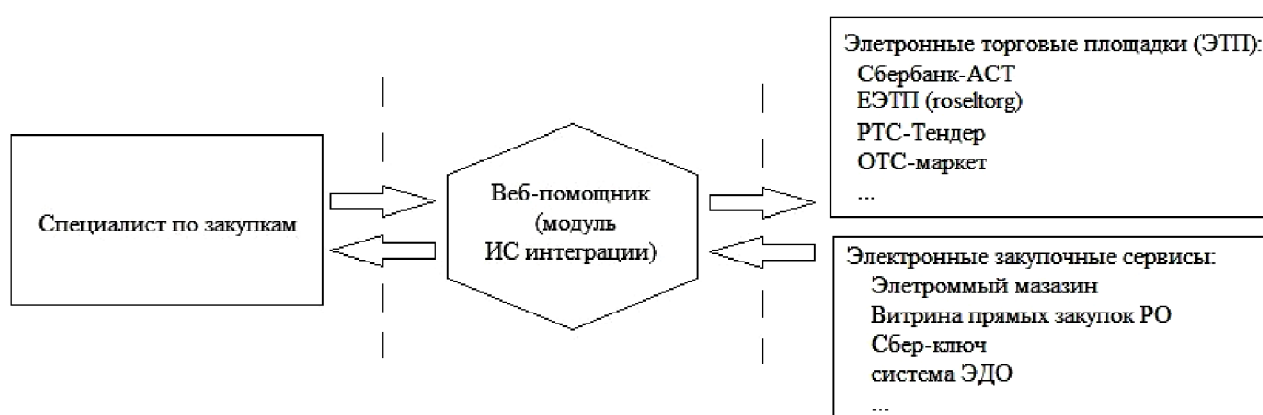


Рис. 1. Концептуальная модель интеграции

В результате реализации работы модуля интеграции «веб-помощник» будет производиться обработка запросов через онлайн сервис. Затем, когда будет налажена и автоматизирована работа модуля интеграции на начальном концептуальном уровне, становится возможным рассмотрение «веб-помощника» как бизнес-процесса и его дальнейшая интеграция между исполнителями-операторами и различными информационными системами в сфере госзакупок.

В итоге мы получим полностью автоматизированную информационную платформу для поддержки субъектов малого предпринимательства Рязанской области по участию в электронных закупочных процедурах для обеспечения государственных и муниципальных нужд, которая станет воплощением интегрированного бизнес-процесса.

Обобщенную схему бизнес-процесса «веб-помощник» удалось представить с помощью системы BPM (business process management), которая позволяет реализовать концепцию и автоматизировать управление процессом участия в госзакупках на различных электронных торговых площадках, через повышение эффективности исполняемых оператором задач.

Построить графическую модель бизнес-процесса «веб-помощник» предлагается в нотации BPMN (The Business Process Modeling Notation) системы ELMA (версия BPMN 2.0), где в качестве языка описания текстовой разметки используется язык XML [2]. Ориентация нотации BPMN как на специалистов технических (разработчики, занимающиеся реализацией), так и на пользователей (в нашем случае операторы-исполнители и заказчики) позволяет понять функциональное устройство бизнес-процесса и эффективно управлять им. Следовательно, нотация BPMN служит связующим звеном между этапом разработки бизнес-процесса и этапом его реализации. Для этого используется базовый набор интуитивно понятных элементов, которые позволяют определять сложные семантические конструкции. По-

этому любой процесс, описанный в нотации BPMN, представляет собой последовательное или параллельное выполнение различных действий (операций).

Обобщенная схема бизнес-процесса «веб-помощник» представлена на рисунке 2.

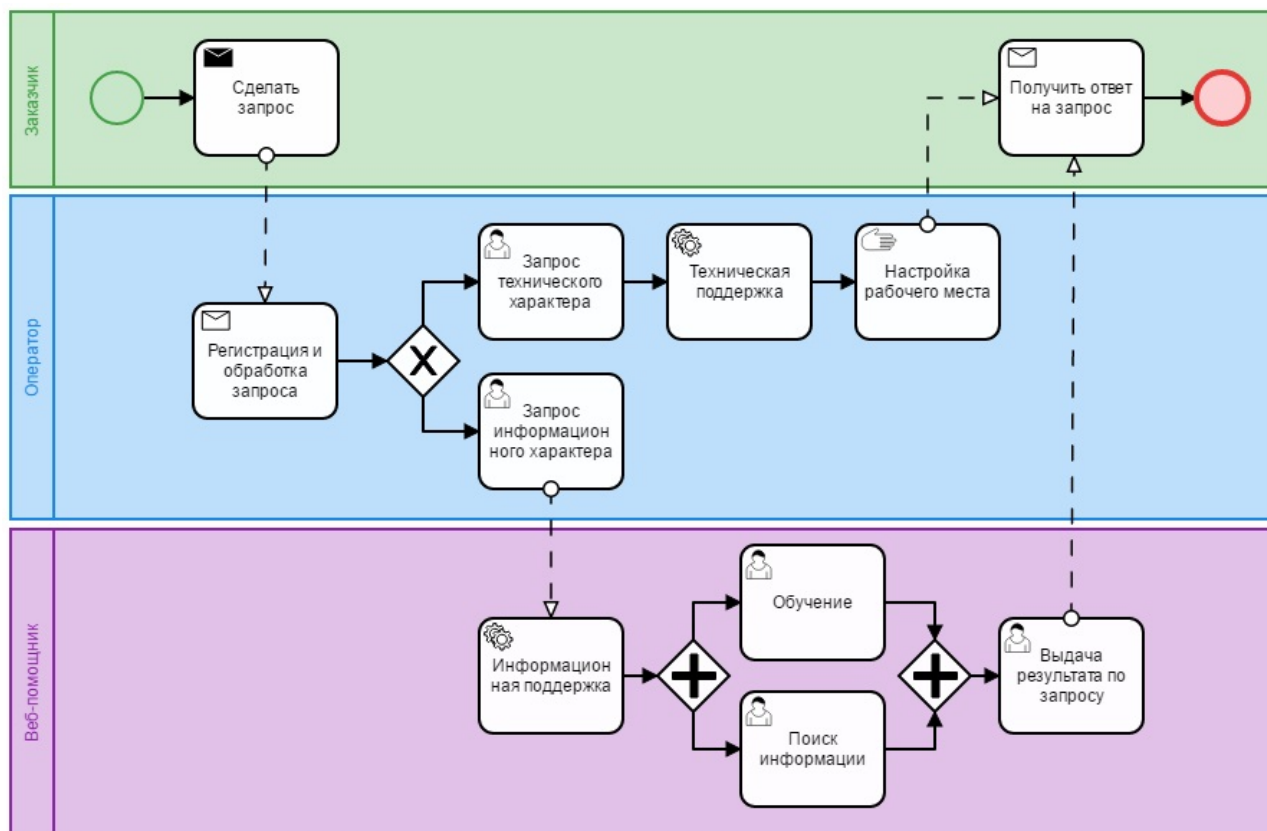


Рис. 2. Обобщенная схема бизнес-процесса «веб-помощник»

Таким образом, процесс интеграции конкретного работника отдела закупок в компании-поставщика и электронных сервисов проведения тендеров реализован поэтапно, а именно, на первом этапе произведены идентификация и анализ типовых сценариев деятельности организаций-СМП Рязанской области в сфере госзакупок, на основе чего построена концептуальная модель модуля интеграции, решающая выявленные проблемы, и на втором этапе построен бизнес-процесс «веб-помощник» в нотации BPMN, объединяющий в себе автоматизированную работу операторов и информационных закупочных систем, что в совокупности можно назвать сквозным бизнес-процессом, который обеспечит информационную и техническую поддержку поставщиков-СМП области.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Рязанской области № 411-р от 13 сентября 2017 года «Об осуществлении закупок с использованием электронного магазина "Витрина прямых закупок Рязанской области"».
2. Академия ELMA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elma-bpm.ru/product/bpm/> – Дата доступа: 10.02.2019.

УДК 004.89; ГРНТИ 28.23.39

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ QA-СИСТЕМ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ

Е.Б. Федосова

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, lena.fedosova2012@yandex.ru

Аннотация. В работе анализируются перспективы разработки и использования вопросно-ответных систем в области метрологического обеспечения деятельности предприятий. Производится попытка выявить основные преимущества и недостатки использования вопросно-ответных систем в сфере метрологии.

Ключевые слова: вопросно-ответные системы (ВОС), QA-системы, информационный поиск, метрология.

RELEVANCE AND PROBLEMS OF USING QUESTION-ANSWERING SYSTEMS IN METROLOGY

E.B.Fedosova

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, lena.fedosova2012@yandex.ru

The summary. The article is devoted to analysis of the prospects of development and using of question-answering systems in the field of metrological support of enterprise activity. An attempt is made to identify the main merits and demerits of using the question-answering systems in the field of metrology.

Keywords: question-answering systems, QA-systems, information retrieval, metrology.

В связи с активным ростом объема информационных ресурсов сети Интернет к концу прошлого века активизировался интерес исследователей к различным способам обработки данных, в том числе, и к информационно-поисковым системам. За последнее десятилетие фокус исследований в области информационного поиска сместился от поиска по произвольному текстовому запросу к более сложным и многогранным задачам. Так, сейчас термин «информационный поиск» включает в себя различные направления обработки информации, такие как поиск графических документов, видеоданных, межъязыковой поиск и т.д. Кроме того, особое место в сфере информационно-поисковых систем занимают исследования в области разработки вопросно-ответных систем.

Вопросно-ответные системы (question-answering systems, QA-системы) – системы, которые предоставляют релевантные ответы на вопросы, сформулированные на естественном языке, и которые, в общем случае, состоят из трех модулей: модуль классификации вопросов, модуль информационного поиска и модуль извлечения ответа [1]. Суть работы таких систем сводится к следующему: на вход ВОС подается вопрос, сформулированный на естественном языке. Далее он обрабатывается с помощью методов NLP (Natural Language Processing), после чего на естественном же языке формулируется ответ на поставленный вопрос. Считается, что для получения ответа на поставленный вопрос ВОС должна провести следующие виды обработок текста:

- 1) графематическую;
- 2) морфологическую;
- 3) синтаксическую;
- 4) семантическую.

Первые QA-системы появились во второй половине прошлого столетия. Например, были разработаны такие системы, как BASEBALL и LUNAR. Система BASEBALL предоставляла пользователю ответы на вопросы, связанные с результатами соревнований бейсбольной лиги США, а система LUNAR предоставляла данные о геологическом анализе образцов пород, доставленных с лунной поверхности экспедициями в рамках программы «Аполлон». Также, некоторые программные системы, содержали в себе вопросно-ответные

блоки в виде подсистем, как, например, медицинская программа ELIZA, содержащая в себе в качестве программного модуля вопросно-ответную систему, которая и позволяла общаться с пользователем [2].

Помимо вышеназванных, было создано немало узкоспециализированных ВОС, связанных с определенной предметной областью, после чего центр исследований в области разработки QA-систем сместился в сторону создания широкопрофильных, т.н. открытых вопросно-ответных систем. Были разработаны такие системы, как START, Сус и многие другие. Однако разработка открытых ВОС столкнулась с рядом проблем, таких как контекстные вопросы, определение типа вопроса, обработка вопроса, создание источника знаний ВОС и, в числе прочих, обеспечение ответа на вопрос в реальном времени [3]. Работа QA-систем в реальном времени предполагает выдачу системой ответа за несколько секунд, что, в свою очередь, предоставляет возможность организовать работу пользователя с системой в диалоговом режиме. Поскольку открытые системы работают с масштабными базами знаний, которые могут обеспечить ответы на вопросы, связанные с разными областями человеческой деятельности, поиск и формулировка ответа могут занимать длительное время. В связи с этим, при работе в режиме реального времени открытых систем возможно превышение времени, отведенного на поиск ответа. Решение этой проблемы заключается в создании программных надстроек, позволяющих на начальных этапах поиска отбрасывать информацию, не имеющую отношения к поставленному вопросу. Однако этот шаг значительно усложнит структуру и, соответственно, разработку вопросно-ответной системы. Узкоспециализированные же системы, в отличие от широкопрофильных, не требуют столь крупномасштабных баз знаний, т.е. работают с гораздо меньшим объемом информации, что, соответственно, может упростить реализацию системы и ускорить ее работу в режиме реального времени.

Таким образом, работа с ВОС, ориентированными на конкретную предметную область, представляет значительный интерес, и в рамках данной работы предпринята попытка оценить перспективы, достоинства и недостатки применения QA-систем в такой предметной области, как метрологическое обеспечение предприятий.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [4]. Метрологическое обеспечение производства имеет большое значение, поскольку точность измерений может повлиять как на объем, так и на качество выпускаемой продукции. Метрологические службы предприятий выполняют различные задачи, связанные с обеспечением единства измерений и метрологическим обеспечением закрепленных за предприятием областей деятельности. При этом, сотрудники метрологических служб различных организаций ежедневно сталкиваются с необходимостью обработки огромного количества информации. Учет средств измерения предприятия, организация и проведение поверки и калибровки, составление разнообразной документации, аттестация испытательного оборудования и средств контроля, проведение метрологического надзора за эксплуатацией и хранением средств измерения и т.д. – все эти и другие многочисленные направления деятельности метрологических служб, так или иначе, связаны с информацией о метрологических характеристиках и алгоритмах поверки средств измерений. Нужные данные можно найти в описаниях утвержденных типов средств измерений (содержащихся в Государственном реестре средств измерений) и в методиках поверки. Однако, для того, чтобы получить необходимые сведения и, тем более, применить их в работе, сотрудники многочисленных метрологических служб вынуждены искать требующийся документ, полностью изучать его текст, вникать в прочитанное и вычленять те данные, которые нужны в данный момент, т.е. производить семантическое сжатие большого количества текстовой информации.

Эти, казалось бы, простые, элементарные действия требуют, тем не менее, значительных временных затрат, поскольку зачастую по разным причинам не удается оперативно найти интересующий документ и быстро извлечь из него нужную информацию.

На наш взгляд, данную проблему можно решить введением в работу метрологических служб вопросно-ответной системы, отвечающей на вопросы, связанные с метрологическим обеспечением деятельности предприятия. Во-первых, этот шаг решит проблему поиска нужного документа, поскольку все необходимые данные будут содержаться в используемой ВОС базе знаний. Во-вторых, для сотрудников метрологических служб предприятия при возникновении потребности в тех или иных материалах отпадет необходимость изучать весь текст документа, содержащий не только нужную, но и побочную информацию. Т.е. на поставленный вопрос пользователь будет получать конкретный ответ, не содержащий посторонних сведений, что значительно сократит временные затраты на работу с данными. Это позволит работникам предприятия экономить время и планировать его на выполнение прочих трудовых обязанностей, что, как следствие, может повысить эффективность труда. Также, существенным удобством применения QA-систем является тот факт, что общение человека с поисковой системой осуществляется на естественном языке. Это значит, что сотрудники смогут пользоваться системой без прохождения какой-либо специальной подготовки.

Другими словами, использование ВОС в области метрологического обслуживания предприятий имеет существенные преимущества перед традиционным поиском информации. Однако разработка вопросно-ответных систем – трудоемкий и сложный процесс. Основными проблемами, с которыми столкнутся разработчики при создании QA-систем и их внедрении в метрологические службы предприятий, являются, на наш взгляд, следующие моменты: разработка специализированных лингвистических обработчиков для вопросов, связанных конкретно с областью метрологии; реализация понятного, эргономичного интерфейса, удобного для пользователей; поддержка и обновление базы знаний вопросно-ответной системы. Не столь острым, но не менее важным будет вопрос выбора типа базы знаний ВОС: глобальной (доступ к которой осуществляется с применением сети) или локальной (хранящейся на локальных запоминающих устройствах). Именно эти задачи, в первую очередь, предстоит решить при дальнейшем, более глубоком изучении затронутой в данной работе темы.

Таким образом, на основании всего вышеизложенного, можем сделать вывод о том, что использование QA-систем в области метрологического обеспечения предприятий может упростить работу с информацией для сотрудников метрологических служб, а также сократить временные затраты сотрудников на поиск и обработку необходимых данных.

Библиографический список

1. Ali Mohamed, Nabil Allam, Mohamed Hassan Haggag, The Question Answering Systems: A Survey. - International Journal of Research and Reviews in Information Sciences (IJRRIS), 2012, v.2 (5). - p. 211.
2. Лапшин В.А. Вопросно-ответные системы: развитие и перспективы // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы, 2012, № 6. - С.1-2
3. Burger J., Cardie C., Chaudhri V. et al. Issues, Tasks and Program Structures to Roadmap Research in Question & Answering (Q&A), 2001. - p. 19. [Электронный ресурс]: URL:http://www.nlp.ir.nist.gov/projects/duc/papers/qa.Roadmap-paper_v2.doc.
4. РМГ 29–2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения (взамен РМГ 29-99)» – М.: Стандартинформ, 2014, стр. 1.

УДК 004.62; ГРНТИ 20.19.01

АЛГОРИТМ APRIORI

Е.О. Храмшина

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

Аннотация. Проанализированы достоинства и недостатки алгоритма поиска ассоциативных правил Apriori. Достоинствами алгоритма является простота его реализации и наличие множества его модификаций. К недостаткам алгоритма можно отнести нерациональность его использования для больших объемов информации. В статье приводится пример работы алгоритма.

Ключевые слова: data mining, apriori, ассоциативные правила, анализ рыночной корзины.

APRIORI ALGORITHM

Е.О. Khramshina

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

The summary. Analyzed the advantages and disadvantages of the associative rules searching algorithm, named Apriori. The advantages of the algorithm is the simplicity of its implementation and the presence of many of its modifications. The disadvantages of the algorithm include the inefficiency of its use for large amounts of information. The article provides an example of the algorithm working.

Keywords: data mining, apriori, association rules, analysis of buyer package.

Интеллектуальный анализ данных (Data Mining) — совокупность методов для выявления закономерностей в данных, основанная на прикладной статистике, искусственном интеллекте, теории баз данных и др. Data Mining применяется для нахождения в больших объемах данных, получаемых в практике, неочевидных закономерностей. Это используется для прогнозирования в бизнесе [2], в медицинской сфере [1] и др. К методам Data Mining относятся методы классификации, моделирования и прогнозирования, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, ассоциативная память, нечеткая логика и др.

Целью исследования было изучение одного из методов поиска ассоциативных правил — алгоритма Apriori, анализ его работы, выявление его достоинств и недостатков.

Впервые проблему поиска ассоциативных правил поднял G. Piatetsky-Shapiro [5]. Были предложены различные решения этой проблемы [6], в том числе авторами Agrawal R., Imielinski T., Swami A. в [3] и [7].

Алгоритм Apriori [4] ищет ассоциативные правила и применяется к базам данных с огромным количеством записей: транзакций, сведений о посещении сайтов и др. Был предложен как улучшение алгоритмов AIS и SETM. Создателем алгоритма является Agrawal R. [3].

Алгоритм Apriori предназначен для нахождения наиболее популярных множеств признаков. Apriori является самообучающимся алгоритмом.

Во многих языках программирования уже есть библиотеки, в которых реализован этот алгоритм (например, библиотека «arules» для языка R, «SPMF» для Java), кроме того есть возможность самим реализовать этот алгоритм.

Для реализации алгоритма необходимо знать следующие термины:

Размер набора — размер определяемого набора одновременно покупаемых товаров.

Поддержка (support) — число транзакций, входящих в набор, к общему количеству транзакций.

Достоверность (confidence) — условная вероятность определенного товара оказаться в корзине с другими товарами.

Работа алгоритма состоит из следующих шагов:

формирование кандидатов (candidate generation) – путем сканирования базы данных, создается множество l -элементных кандидатов, где l – номер этапа. Поддержка кандидатов на этом этапе не рассчитывается;

подсчет кандидатов (candidate counting) – вычисляется поддержка каждого k -элементного кандидата, осуществляется отсечение кандидатов, поддержка которых меньше минимального значения, заданного пользователем. Часто встречающимися наборами считаются те, которые прошли эту проверку.

Количество сканирований базы данных определяется максимальным числом элементов в транзакциях.

Алгоритм Apriori в псевдокоде изображен ниже (рис. 6) [7], где T – список транзакций, ϵ – минимальная поддержка (minimal support).

```

Apriori ( $T, \epsilon$ )
 $L_1 \leftarrow \{ \text{large 1-itemsets that appear in more than } \epsilon \text{ transactions} \}$ 
 $k \leftarrow 2$ 
while  $L_{k-1} \neq \emptyset$ 
     $C_k \leftarrow \text{Generate}(L_{k-1})$ 
    for transactions  $t \in T$ 
         $C_t \leftarrow \text{Subset}(C_k, t)$ 
        for candidates  $c \in C_t$ 
             $\text{count}[c] \leftarrow \text{count}[c] + 1$ 
     $L_k \leftarrow \{c \in C_k \mid \text{count}[c] \geq \epsilon\}$ 
     $k \leftarrow k + 1$ 
return  $\bigcup_k L_k$ 

```

Рис. 6. Алгоритм Apriori

Для правильной работы алгоритма необходима определенная структура данных, а именно, необходимо преобразовать список транзакций к бинарному виду. Например, есть пять транзакций и пять различных товаров (пусть это будет Кефир, Сыр, Булка, Чай и Сахар). Первый покупатель (что соответствует первой транзакции) купил Кефир и Сыр, второй – Кефир, Сыр, Булка и Чай, третий – Кефир и Булка, четвертый только Кефир, Булка и чай, пятый – Кефир, Сыр и Булка. Таким образом, после предобработки данных получим следующие данные (рис. 7).

1	1	0	0	0
1	1	1	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	1	0	0

Рис. 7. Данные о транзакциях в бинарном виде

Каждая строка – это описание конкретной транзакции, столбец – купленный товар. Если товар присутствует в транзакции, то ставится в соответствие «1», иначе «0».

Для алгоритма Agrawal R. характерно следующее свойство: поддержка любого набора элементов не может превышать минимальной поддержки любого из его подмножеств. Например, поддержка 4-элементного набора {Булка, Сыр, Кефир, Чай} обязательно меньше или равна поддержке 3-элементных наборов {Булка, Сыр, Чай}, {Булка, Кефир, Чай}, {Сыр, Кефир, Чай}, {Булка, Сыр, Кефир}. То есть, любая транзакция, содержащая {Булка, Сыр, Кефир, Чай}, должна содержать {Булка, Сыр, Чай}, {Булка, Кефир, Чай}, {Сыр, Кефир, Чай} и {Булка, Кефир, Сыр}, обратное утверждение не является истинным. Свойство антимонотонности необходимо для снижения размерности пространства поиска.

В примере задана поддержка, равная 0.6, то есть минимум в 3 из 5 транзакций должен встречаться полученный в результате работы алгоритма набор товаров. Сначала алгоритм найдет поддержку одноэлементных наборов, то есть конкретных товаров. Если поддержка конкретного товара ниже заданной величины, то далее наборы с этим элементом не рассматриваются. Наглядно это изображено ниже на рисунке (

рис. 8), для удобства обозначим наши товары номерами по порядку следования в перечислении выше. Рамкой выделены рассматриваемые элементы, цветом – прошедшие проверку на минимальную поддержку и входящие в результат работы алгоритма. Из рисунка видно, что на третьем шаге минимальной поддержкой не обладает ни один набор товаров, следовательно, при формировании кандидатов следующего шага будет сформировано пустое множество и работа алгоритма прекратится. В результате работы алгоритма получены следующие наборы: {Кефир, Сыр}, {Кефир, Булка}, а так же их одноэлементные наборы.

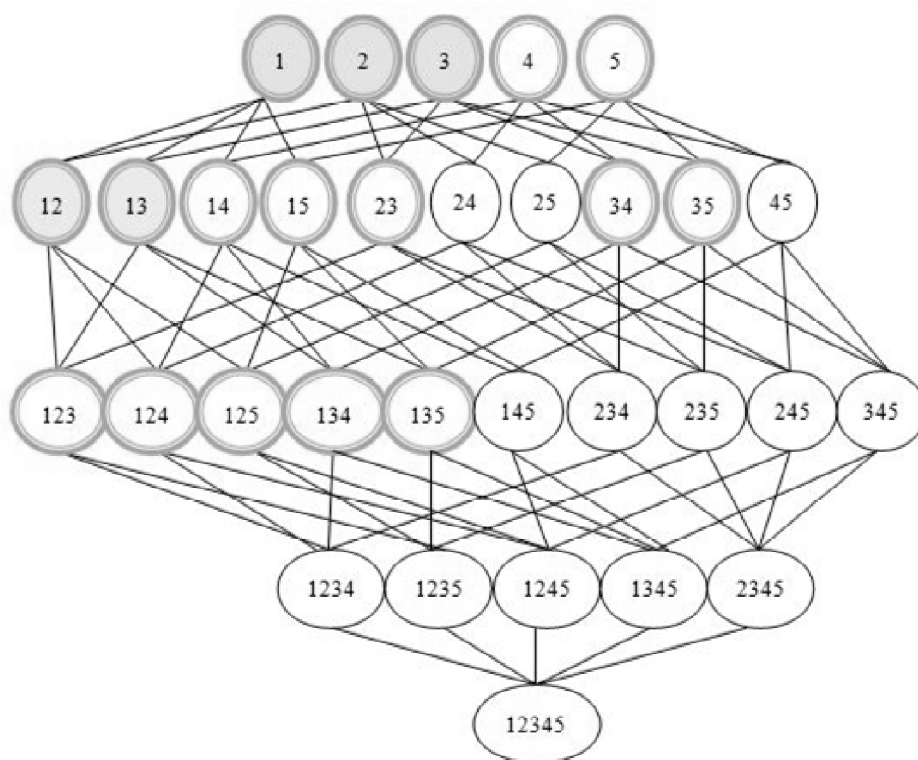


Рис. 8. Схема работы алгоритма Apriori

Кроме того, можно задать размер набора для поиска, например, только наборы, состоящие из 2 элементов, тогда результатом работы алгоритма будут только двухэлементные наборы: {Кефир, Сыр}, {Кефир, Булка}, и работа алгоритма прекратится после шага, на котором они были найдены.

Таким образом, можно сказать, что, являясь одним из наиболее популярных алгоритмов поиска ассоциативных правил, алгоритм Apriori не идеален: он прост в реализации, име-

ет множество модификаций, но требует больших мощностей, если количество транзакций стремится к бесконечности и содержит множество различных товаров, особенно, если минимальная поддержка мала.

Библиографический список

1. Биллиг В.А., Царегородцев Н.А., Иванова О.В. Программные продукты и системы. №2. Построение ассоциативных правил в задаче медицинской диагностики. – Тверь, «Фактор и К», 2016.
2. Фрэнкс Б. Укрошение больших данных: Как извлекать знания из массивов информации с помощью глубокой аналитики. – Москва, «Манн, Иванов и Фербер», 2014.
3. Agrawal R., Imielinski T., Swami A. Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases. SIGMOD Conference, 1993.
4. Brin S., Motwani R., Ullman J.D. Dynamic Itemset Counting and Implication Rules for Market Basket Data. SIGMOD'1997, «ACM Press», 1997.
5. Piatetsky-Shapiro G. Discovery, analysis and presentation of strong rules. Knowledge Discovery in Databases. «AAAI Press», 1991.
6. Prutkow A. Algorithms and Data Structures for Association Rule Mining and its Complexity Analysis. In ICPE 2018 – International Conference on Psychology and Education, «The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS» Serie, 2018, pp. 558-568.
7. Srikant R., Agrawal R., Fast algorithms for Mining Association rules in large database. In VLDB '94 Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases, 1994.

УДК 681.3.06; ГРНТИ 50.05.13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АССОЦИАТИВНОГО АНАЛИЗА КАК МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАТИВНОСТИ САЙТА

М. Царамов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, tsaram.tsaramov.94@mail.ru*

Аннотация. Данная работа посвящена анализу методики ассоциативного анализа для оптимизации наполнения сайта, с целью увеличения продаж. Были разработаны методика и рекомендации, с помощью которых можно спрогнозировать поострить ассоциативную модель поведения посетителя сайта. Предложенный в работе метод с использованием информационных технологий позволит владельцам и руководителям различных компаний осуществлять прогноз на дальнейшее развитие ресурса и выявить динамику его пользовательской активности.

Ключевые слова: ассоциативный анализ, интернет-технологии, информационные технологии, оптимизация сайта.

USE OF ASSOCIATIVE ANALYSIS AS A METHOD OF OPTIMIZING THE SITE INFORMATION

M. Tsaramov

*Ryazan State Radiotechnical University,
Russia, Ryazan, tsaram.tsaramov.94@mail.ru*

Annotation. This paper is devoted to the analysis of the associative analysis methodology to optimize the content of the site in order to increase sales. Methods and recommendations were developed with the help of which it is possible to predict to sharpen the associative model of the site visitor's behavior. The proposed method with the use of information technology will allow owners and managers of various companies to make a forecast for the further development of the resource and identify the dynamics of its user activity.

Keywords: associative analysis, Internet technologies, information technologies, site optimization.

1. Введение

Автоматизация и компьютеризация бизнес-процессов в интернет-технологиях привели к тому, что каждое действие пользователя регистрируется и сохраняется в базах данных

(БД). Собранная информация используется для автоматизированного формирования различных видов и форм отчетности. В последнее десятилетие, в связи с бурным развитием технологий анализа данных [1], все большее распространение получает аналитическая отчетность, которую требуется вести для аналитики работы ресурса и для повышения эффективности управления им за счет поддержки принятия качественных управленческих решений.

2. Анализ входящего потока данных

В основе формирования аналитической отчетности лежит предположение о том, что данные, накопленные в информационных системах предприятий и организаций, содержат зависимости, закономерности и структуры, понимание и интерпретация которых человеком, позволяет ему получать знания, использование которых позволяет ему принимать более обоснованные управленческие решения.

Однако, поскольку бизнес-процессы современных предприятий весьма сложны, а сами предприятия могут иметь сложную распределенную структуру (сотни филиалов и представительств в десятках регионов и даже стран мира), количество данных, накапливаемых в их информационных системах, оказывается очень велико. Например, торговая сеть WallMart генерирует в день 5 петабайт данных.

Очевидно, что «ручной» анализ таких объемов данных с целью поиска в них скрытых зависимостей и закономерностей невозможен – для этого требуется применение специальных масштабируемых алгоритмов аналитической обработки данных, работающих в автоматическом режиме. Для решения данной задачи в последние два десятилетия получил широкое развитие новый вид программного обеспечения – аналитические системы и аналитические платформы. Системы первого вида, как правило, ориентированы на обработку данных в определенной предметной области (например, торговле) или определенными методами (например, статистическими). Аналитические платформы позволяют строить законченные проекты анализа данных в любой предметной области. Технологии, позволяющие восстанавливать зависимости и закономерности в данных получили название интеллектуальный анализ данных [2] или, в англоязычно варианте, Data Mining – раскопка, разработка данных.

Традиционно, основными задачами анализа данных являлись классификация, регрессия (численное предсказание) и кластеризация. Однако, в последние 20 лет активно развивается новое направление анализа данных – ассоциативный анализ. Ассоциация – закономерная связь между отдельными событиями, фактами, предметами или явлениями. Обнаружение закономерностей, описывающих ассоциативные связи между событиями и явлениями экономической и социальной среды, позволяет объяснять зависимости между ними, предсказывать появление тех или иных событий в связи с появлением других.

3. Ассоциативные правила

Одним из важнейших свойств интеллекта человека является ассоциативность мышления. Поэтому задача обнаружения ассоциативных связей между объектами и событиями представляет огромный интерес с точки зрения поиска знаний. Одним из популярных методов обнаружения знаний стали алгоритмы ассоциативных правил [2]. Привлекательность ассоциативных правил (АП) с точки зрения их использования обусловлена формулированием на естественном языке, высокой объясняющей способностью и простотой интерпретации.

Одним из основным приложений АП является определение часто встречающихся наборов объектов в большом множестве наборов. Впервые эта задача была предложена для нахождения типичных шаблонов покупок, совершаемых в супермаркетах, поэтому иногда ее еще называют анализом рыночной корзины. Результатом такого анализа являлись наборы товаров, наиболее часто продаваемых совместно (по одному чеку). Знание таких наборов позволяет повысить продажи за счет соответствующей раскладки товара на прилавках и в тор-

говом зале, правильно формировать товарные запасы, делать более эффективными маркетинговые мероприятия.

Однако такой же подход может быть применен для поиска типичных наборов объектов в любой предметной области. В частности, ассоциативная модель может использоваться для адаптации информации на сайте, ведь основная часть интернет ресурсов нацелена на продажи. Знание таких шаблонов позволит повысить продажи за счет предложения клиенту не одного вида рекламы, а сразу нескольких, для которых установлена наиболее сильная ассоциативная зависимость.

Человеку свойственна ассоциативность мышления. Ассоциация (лат. *Associatio* – соединение, взаимосвязь) – закономерно возникающая связь между отдельными событиями, фактами, предметами или явлениями, отражёнными в сознании и закреплёнными в памяти. Поэтому задача обнаружения ассоциативных связей между объектами и событиями, отражёнными в данных, представляет огромный интерес с точки зрения поиска знаний [2].

При наличии ассоциативной связи между событиями A и B возникновение события A закономерным образом влечёт появление события B . Обнаружение закономерностей, описывающих ассоциативные связи между событиями и явлениями в социальной, экономической и бизнес среде, позволяет предсказывать их появление, разрабатывать комплексы мер по предотвращению нежелательных и совершению желаемых событий.

События могут описываться качественно или количественно. Связи между событиями, произошедшими в ходе некоторого экономического, социального или бизнес-процесса, устанавливаются с помощью систем правил, называемых ассоциативными. Привлекательность ассоциативных правил с точки зрения их использования в анализе данных обусловлена тем, что они формулируются на естественном языке, обладают высокой объясняющей способностью и простотой интерпретации. Типичное АП, устанавливающее связь между двумя событиями, происходящими одновременно, записывается в виде:

$$A \rightarrow B,$$

что читается «Если A , то B », где событие A называют условием, а событие B – следствием.

Поскольку A и B – это события или явления, происходящие совместно, поиск АП должен производиться на большом количестве групп событий, происходящих совместно. Такие группы называются транзакциями. Типичные примеры транзакций и возможные способы использования обнаруженных на их основе ассоциаций, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Примеры типов транзакций и способы использования соответствующих ассоциаций

Предметная область	Тип транзакции	Возможное использование ассоциаций
Торговля	Покупка набора товаров по одному чеку, отгрузка ассортимента товаров по одной накладной	Выявление товаров, обычно покупаемых совместно, стимулирование продаж, оптимизация ценообразования, ассортимента товаров, их размещения на складах и т.д.
Сфера услуг	Использование клиентом набора услуг при одном посещении (например, парикмахерской, косметического салона).	Оптимизация набора оказываемых услуг и ценообразования, закупок материалов, набор персонала, снижение времени и затрат на обслуживание клиента.
Медицина и здравоохранение	Набор симптомов, выявленных у больного при обследовании в поликлинике, набор услуг стоматолога, востребованных при одном визите.	Улучшение качества диагностики, выработка метода лечения больных, прогнозирование эпидемиологической ситуации, оптимизация спектра услуг платных медицинских центров.
Техническое обслуживание	Набор деталей, заменяемых при обслуживании по одному заказ-наряду, набор работ, выполняемых при регламентном обслуживании и др.	Сокращение времени простоя техники на ремонте, оптимизация процедур заказа запасных частей и их запасов, снижение затрат на ремонт техники.
Сельские хозяйства	Набор факторов, обнаруженных при агрохимическом, агрофизическом обследовании почв на одном участке.	Прогнозирование урожайности, выявление основных факторов влияющих на урожайность, оптимизация агрохимических мероприятий, использования сельхозтехники и т.д.
Обнаружение мошенничеств с кредитными картами	Последовательность действий со счетом на кредитной карте.	Обнаружение редких событий (например, снятие со счета нетипично большой суммы) позволяет предположить факт мошенничества.

Подобные транзакционные данные могут быть сформированы в любой сфере деятельности, процессы в которой описываются последовательностью событий и явлений качественного или количественного характера. Они отражают внутренние, подчас неочевидные и скрытые закономерности, присущие исследуемым процессам в экономике и бизнесе, которые невозможно или очень сложно обнаружить более формальными методами.

Потенциальная область применения АП очень широка [1]. Первые исследования в этом направлении производились для супермаркетов с целью выявления наборов товаров, приобретаемых совместно, т.е. по одному чеку. Транзакции при этом формируются автоматически с помощью контрольно-кассовых машин, снабженных сканерами штрих-кодов. Транзакции сводились в централизованную транзакционную БД в которой производился поиск АП. Целями данных исследований являлись изучение психологии и особенностей поведения покупателей, стимулирование продаж за счет предложения товаров, чаще всего покупаемых совместно. В случае интернет-технологий данную методику легко применить с помощью метрик, установленных на сайтах.

Выводы

Таким образом, в различных предметных областях транзакционные БД формируются различными способами и могут иметь разнообразную смысловую и логическую нагрузку. Тем не менее, при их анализе возникают две проблемы: огромное число транзакций (сотни тысяч и даже миллионы) и большое количество предметов или событий, формирующих эти транзакции (сотни и тысячи). Действительно, через популярный интернет ресурс ежедневно проходит огромное количество пользователей. Это делает главным требованием к алгоритмам поиска АП обеспечение приемлемых вычислительных затрат на больших объемах данных.

Библиографический список

1. Барсегян А.А. Анализ данных и процессов / А.А.Барсегян, М.С.Куприянов, И.И. Холод, М.Д. Тесс, С.И.Елизаров. 3-е изд. перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
2. Паклин Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям (+CD)/Паклин Н.Б., Орешков В.И. – Изд. 2-е, переработанное и дополненное. – СПб.: Питер, 2010.– 700 с.

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 665.765; ГРНТИ 31.21.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЭСТЕРОВОГО МАСЛА, ПОЛУЧЕННОГО В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

М.В. Воронов, В.Д. Фомина, Т.П. Шуварикова

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, maks.otlichnik98@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются важные свойства эстеровых масел, отличающие их от других популярных смазывающих материалов. Кроме того работа содержит основные области применения эстеров, а также их достоинства и существенный недостаток.

Ключевые слова: эстеровое масло, пентаэритрит, высшие карбоновые кислоты, полусинтетическое масло, температура вспышки, вязкость.

INVESTIGATION OF CHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF ESTER OIL OBTAINED UNDER LABORATORY CONDITIONS

M.V. Voronov, V.D. Fomina, T.P. Shuvarikova

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, maks.otlichnik98@yandex.ru

The summary. The paper discusses the important properties of ester oils that distinguish them from other popular lubricants. In addition, the work contains the main areas of application of esters, as well as their advantages and significant drawback.

Keywords: ester oil, pentaerythritol, higher carboxylic acids, semi-synthetic oil, flash point, viscosity.

Целями данной работы являются:

- рассмотреть основные свойства эстеровых масел, полученных в лаборатории;
- выделить области применения эстеровых масел в современном мире;
- привести достоинства и недостатки эстеровых масел, а также их преимущества над другими смазочными материалами.

Эстеры – это сложные эфиры, синтезируемые путём этерификации карбоновых кислот многоатомным спиртом пентаэритритом. Побочным продуктом реакции является вода. Эстеры не включают в себя продуктов нефтепереработки.

Для синтеза эстеровых масел, обладающих высокими показателями качества, требуется использовать лучшее сырьё, которое соответствует качественным характеристикам, приведённым в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика сырья, из которого получают эстеровое масло

Наименование сырья	Химическая формула	Молярная масса, г/моль	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Плотность, г/мл	Чистота, %
Пентаэритрит	C ₅ H ₁₂ O ₄	136,15	260,5	276	1,394	98
Декановая кислота	C ₉ H ₁₉ COOH	172,26	31,6	268—270	0,893	≥98
Октановая кислота	C ₇ H ₁₅ COOH	144,21	16–17	237	0,910	≥98
Гептановая кислота	C ₆ H ₁₃ COOH	130,19	-8,9...-8,7	223	0,910	≥99

Продолжение таблицы 1

Валериановая кислота	C₄H₉COOH	102,13	-32	184—187	0,939	≥99
Изовалериановая кислота	C₄H₉COOH	102,13	-29,3	176,5	0,925	99
Малоновая кислота	C₂H₃COOH	104,06	135,6	140-160	1,630	99

Свойства эстеровых масел

1. Биоразлагаемость и устойчивость к гидролизу

Сложные эфиры производятся из спиртов и карбоновых кислот, а вода является побочным продуктом реакции этерификации. Все реакции получения сложных эфиров являются обратимыми, поэтому вода может разложить сложный эфир обратно на кислоту и спирт. Скорость реакции гидролиза сильно зависит как от структуры, так и от условий окружающей среды.

Но можно химически заблокировать путь гидролиза, используя разветвленные многоатомные спирты. Полученные таким образом эстеры чрезвычайно стабильны в воде и ведут себя как минеральные масла в типичных тестах на гидролиз. Фактически, компьютерное моделирование показывает, что скорость гидролиза измеряется сотнями лет.

Для создания эстеровых масел используются синтезированные карбоновые кислоты. Таким образом обеспечивается практически полная биоразлагаемость, то есть значительное увеличение экологичности смазочного продукта, благодаря чему их утилизация не наносит серьезного вреда природе.

2. Температура вспышки и летучесть

Синтетические эфиры ценятся за их способность смазывать при высоких температурах. Одна из основных причин этого заключается в том, что они обладают гораздо меньшей летучестью, чем другие смазочные базовые масла при заданной вязкости.

По мере повышения температуры количество испарения увеличивается, пока не появится видимый пар и, в конечном итоге, достаточное количество пара, чтобы произошла вспышка.

При достижении температуры вспышки может произойти воспламенение паров с поверхности масляной пленки, но только под влиянием открытого огня, возникающего, например, от сгорания топлива. Зависит данная температура от состава эстерового масла: чем выше количество легких фракций в нем, тем ниже значение температуры вспышки.

Однако, чем значение температуры вспышки больше, тем предпочтительней, так как эстеровые масла, обладающие высокой температурой вспышки, устойчивы к окислению, не откладываются на узлах двигателя и обладают меньшей пожароопасностью.

3. Вязкость

Значение вязкости эстеровых масел регулируется во время их производства, в зависимости от того, какие карбоновые кислоты и спирт для этого используются. Большее значение вязкости эстеров получается, если в процессе их изготовления применяются тяжелые спирты. Чем менее вязким является масло, тем оно качественней, потому что обладает лучшей текучестью, а значит, и смазывает лучше [1].

При производстве эстеровых масел не следует использовать присадки для повышения вязкости, поскольку они выгорают, и масло приходит в негодный вид гораздо быстрее [2].

В таблице 2 показано соотношение между температурой вспышки и вязкостью для нескольких распространенных типов синтетических смазок.

Таблица 2. Значения кинематической вязкости и температур вспышки и застывания некоторых типов синтетических смазок

Синтетические базовые масла	Вязкость при 40°C, сСт	Температура вспышки, °C	Температура застывания, °C
Поли-Альфа-Олефиновые	19	220	-60
ПАГ	34	218	-39
Замещённый нафталин	29	222	-20
Диэфиры	14	231	от -10 до -20
Полиэстеровые	19	257	ниже -50

От температуры застывания зависят эксплуатационные свойства базового масла, одним из которых является способность таких смазок обеспечить работу двигателя транспортного средства при пониженных температурах. У эстеровых масел температура застывания ниже -50°C, что превосходит температурные значения для остальных масел, что проиллюстрировано на рисунке 1.

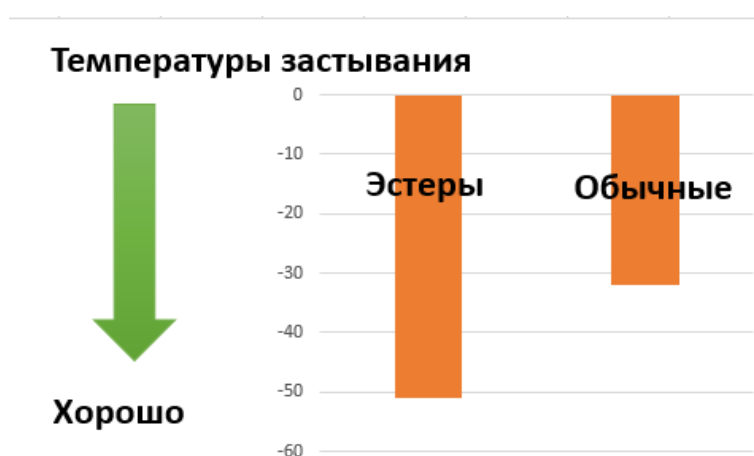


Рис. 1. Сравнение температуры застывания для эстеров и других масел

Как показали исследования, эстеровые масла обладают высокой устойчивостью при различных значениях температур, и их использование возможно без вовлечения токсичных присадок [2].

4. Смазывающая способность эстеровых масел

Сложные эфиры являются полярными, поэтому хорошо притягиваются к металлическим поверхностям, образуя своего рода пленку. Это, в свою очередь, минимизирует контакт металла с металлом, что и требуется от масла. Принцип действия эстеров следующий: отрицательно заряженный атом кислорода притягивается к металлическим элементам двигателя, имеющим положительный или нейтральный заряд, что приводит к образованию смазывающей пленки, которая сравнимо магниту притягивается к металлам. Такое явление не наблюдается у других видов масел.

Для работы двигателя наиболее опасны моменты пиковых нагрузок. Прочность масляной плёнки, образуемой эстеровой смазкой, на порядок превышает аналогичные показатели плёнок, полученных на минеральной и полиальфаолефиновой (ПАО) основах.

Пиковые нагрузки составляют:

- для минеральных (нефтесодержащих) масел — 900 кг/см²;
- для синтетики на основе ПАО — 6500 кг/см²;
- для эстеровых масел — 22000 кг/см².

На основе приведённого сравнения можно убедиться в том, насколько эстеровые масла превосходят другие виды масел.

В зависимости от значений пиковых нагрузок эстеровые масла широко применяются для гоночных автомобилей.

Основные области применения эстеровых масел

1. В авиационном транспорте для синтеза авиационных сложноэфирных масел, которые в состоянии обеспечить бесперебойную работу авиационных газотурбинных двигателей. Такие масла должны обладать следующими важными свойствами:

- надежное смазывание всех узлов трения и элементов двигателя с обеспечением минимального износа в пределах температур от -50°C до 150°C и выше;
- повышенная термическая и термоокислительная устойчивость;
- исключение взаимодействия с металлами, сплавами, резиновыми изделиями, различными покрытиями.

2. В автомобильном транспорте для обеспечения бесперебойной работы автомобиля, в частности для быстрого холодного запуска при достаточно низких температурных условиях. Если эстеровое масло использовать постоянно, то уменьшается степень износа деталей и, соответственно, увеличивается срок эксплуатации транспортного средства. При этом образование нагара сведено к минимуму.

Эстеровые масла можно добавлять в минеральные масла в определённых процентах, создавая полусинтетические масла. Полусинтетическим называется масло, которое синтезируется при смешивании двух различных основ пропорциях: 25-50% синтетического масла и 50-75% минерального. Минеральное масло – это смазочный материал натурального происхождения, синтезированный из нефти с помощью перегонки и последующей за ней очистки.

Главными достоинствами эстеровых масел являются следующие свойства:

- лучшее сцепление с металлическими поверхностями, из-за чего не происходит «масляного голодания» двигателя;
- защитная плёнка, устойчивая даже при высоких нагрузках;
- отсутствие вредных присадок;
- низкий расход смазки на угар;
- сохранение текучести при пониженных температурах, вследствие чего автомобиль легко заводится даже в мороз;
- защита мотора от шлакообразования;
- экологичность [1].

Недостатком эстерового масла является его высокая стоимость, которая превышает стоимость обычных моторных масел в 5-10 раз, что показано в таблице 3. Однако высокий ценовой показатель этой смазки вполне оправдан, поскольку процесс производства эстеров сложен, трудоёмок и состоит из нескольких стадий.

Таблица 3. Ценовые показатели различных видов масел

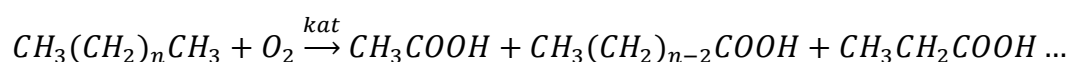
Синтетическое масло	Стоимость за 4л, руб.
ПАО	от 900 до 8500
ПАГ	от 800 до 4500
Замещенные нафталины	от 400 до 4000
Диэфиры	от 500 до 3900
Полиэстеровые	от 600 до 11000

Суммируя достоинства моторных масел на эстеровой основе, можно заключить, что ценовой показатель компенсируется уникальными и многообразными эксплуатационными качествами, позволяющими обеспечить автомобилю необходимый уход и долговечность.

В настоящее время в России не налажено производство эстеровых масел, поскольку оно требует больших затрат на покупку карбоновых кислот, которые также не производятся в нашей стране, и дорогостоящего пентаэритрита. Кроме того производство таких масел – сложный и не до конца освоенный процесс.

В данной работе предлагается перспектива запуска малотоннажного производства эстеровых масел на небольшой пилотной установке, которое может послужить импульсом для дальнейшего налаживания многотоннажного производства эстеров, как в виде самостоятельных масел, так и в виде добавок к минеральным маслам.

Сейчас имеется возможность из нефтепродуктов, полученных на РНПК, синтезировать бензин-рафинат (низкооктановый бензин, получаемый после удаления ароматических углеводородов из продуктов каталитического риформинга) для производства карбоновых кислот по формуле:



Библиографический список

1. Капустин, В.М. Технология переработки нефти. Часть третья. Производство нефтяных смазочных материалов / В.М. Капустин, Б.П. Тонконогов, И.Г. Фукс // М.: Химия. – 2014. – 328 с.
2. Ахметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа / С.А. Ахметов // У.: Гилем. – 2002. – 672 с.

УДК 547-3;54.084; ГРНТИ 61.51.31

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ МАСЕЛ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

М.В. Лызлова*, В.С. Логинов, Я.В. Дёмочкина *****

* Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, lyzlova.m.v@rsreu.ru

** Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, vlad.loginoff@gmail.com

*** Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, dyomochkina.yana@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена применению метода ИК-спектроскопии для исследования образцов базовых масел различных групп.

Ключевые слова: ИК-фурье спектроскопия, групповой состав, базовые масла.

INVESTIGATION OF BASE OILS USING IR-SPECTROSCOPY

M.V. Lyzlova*, V.S. Loginov, Y.V. Dyomochkina***,**

* Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, lyzlova.m.v@rsreu.ru

** Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, vlad.loginoff@gmail.com

*** Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, dyomochkina.yana@bk.ru

Abstract: The article is devoted to the application of the method IR-spectroscopy for the analysis of various group base oils.

Keywords: IRspectroscopy, group composition, base oils.

В настоящее время для изучения индивидуальных особенностей сложных смесей органических соединений, состава нефтей и нефтепродуктов, широко применяются спектральные методы анализа, в том числе метод инфракрасной спектроскопии (ИКС), основанный на

изменении энергии инфракрасного излучения, проходящего через исследуемый образец. В большинстве случаев анализ нефтепродуктов осуществляется в ближней, средней и дальней областях ИК-спектра. Определение функциональных групп в стандартной области 4000-400 см⁻¹ с применением Фурье-преобразования значительно расширяет границы и возможности ИКС-метода [1]. Использование данного метода при производстве смазочных материалов для идентификации и контроля исходного сырья, проверки качества, получаемой продукции, разработки методов, позволяющих быстро диагностировать состав применяемых масел и тем самым корректировать способы приготовления товарных масел и прогнозировать их свойства является актуальной задачей для производителей, потребителей и исследователей.

К смазочным материалам, применяемым для защиты машин, механизмов и различных металлических изделий в процессе эксплуатации и хранения при разных температурных режимах, предъявляются определенные требования. Для смазочных масел – это уменьшение трения между соприкасающимися поверхностями, их охлаждение, уплотнение зазоров и удаление с поверхностей продуктов изнашивания. Масла должны обладать определенными низкотемпературными свойствами, вязкостью, хорошей проникающей и моющей способностью, устойчивостью к окислению. Обеспечение таких свойств в товарных маслах определяет химический состав, который в свою очередь зависит от основы (базового масла) и присадок [2].

Целью настоящей работы является изучение базовых масел минерального происхождения методом ИКС. Для изучения были выбраны две группы масел, отличающихся вязкостью (II и III по классификации американского института нефти API). Для получения этих масел используют различные способы очистки прямогонных масляных дистиллятов: II группа – селективная очистка и гидроочистка, III группа – гидрокрекинг и гидроизомеризация. В обоих случаях очистки из масляных фракций, полученных в процессе вакуумной перегонки мазута, удаляются полициклические нафтеноароматические и высокомолекулярные парафиновые углеводороды, ухудшающие свойства масел. Для каждой группы характерно определенное содержание насыщенных соединений (не менее 90 %) и серы (не более 0,03 %). Реологические свойства характеризуются вязкостно-температурной зависимостью значения индекса вязкости (II группа – 80-120, III группа – не менее 120).

В настоящей работе исследование группового состава проводилось на ИК-Фурье спектрометре «Инфраспект ФСМ 2202» с регистрацией спектров в диапазоне 4000-400 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹. [3, 4]. Измерения проводили в стандартной жидкостной кювете со стеклами из KBr диаметром 32 мм с прослойкой толщиной 0,37 мм. Для отработки методики и выявления отличительных признаков нефтепродуктов проведены исследования образцов базовых масел: 100 NS, 250 NS, VHVI-4, VHVI-6, показатели качества которых приведены в табл.1.

Таблица 1. Показатели качества исследуемых образцов масел

Наименование показателя	100 NS	250 NS	VHVI-4	VHVI-6
группа	II	II	III	III
Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100 0С при 40 0С	5,26	8,816 71,3	4,48	6,22 34,68
Индекс вязкости	93	93	121	129
Плотность кг/м ³ при 15 0С,	874	879	837	865
Содержание серы	0,027	0,094	-	-

Полученные ИК-спектры представлены на рисунке 1. Для идентификации и сравнения наиболее характерных групп использовали область спектра 600-1800 см⁻¹.

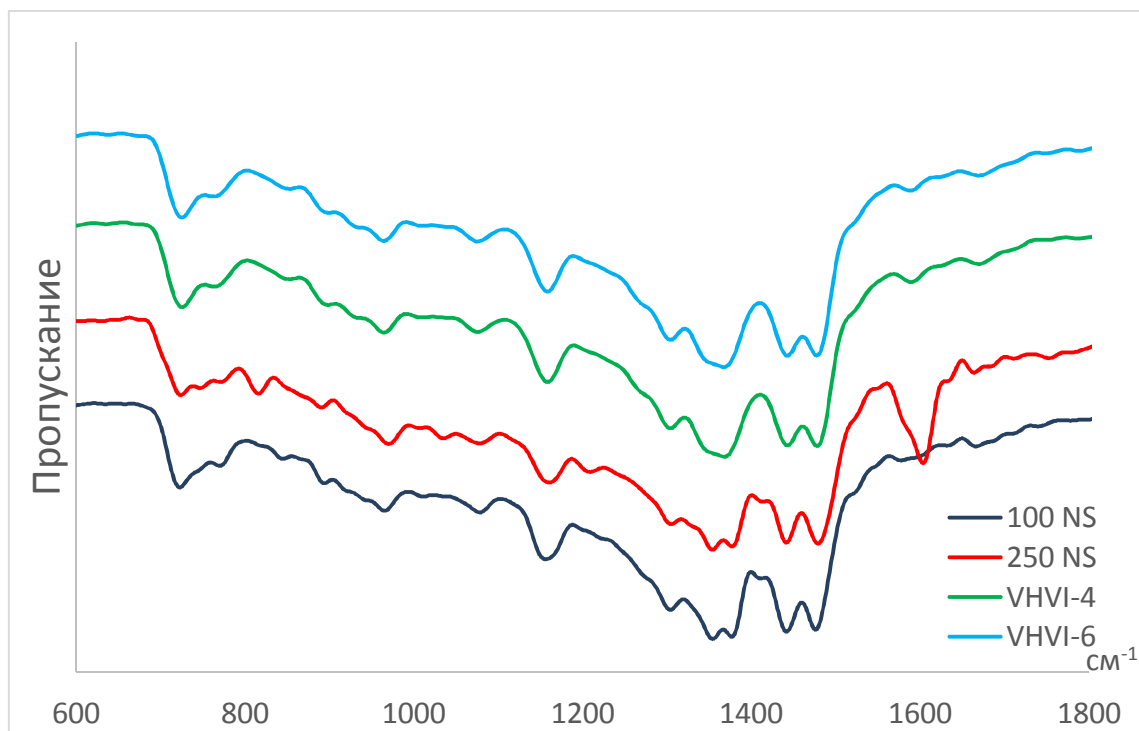


Рис. 1. ИК-спектры исследуемых масел

На полученных спектрах были выделены фиксированные точки по соответствующим полосам поглощения, для которых определены интенсивность поглощения и оптическая плотность: область 720 и 1300 см⁻¹ - метиленовые группы (-CH₂), область 1380 и 1464 см⁻¹ - метильные группы (-CH₃), область 1030 см⁻¹ - сульфоксидные группы (S=O), область 1720-1700 см⁻¹ - карбонильные группы (C=O), область 1600 см⁻¹ - ароматические связи (C=C) [3, 4].

Для каждого образца масла были рассчитаны коэффициенты, характеризующие степень разветвленности парафиновых структур, ароматизированности, осерненности и окисленности относительно интенсивности поглощения (ν) и оптической плотности (D) [5, 6]:

$$\beta_{1464}^{720} = \frac{\nu_{1464}}{\nu_{720}} - \text{степень разветвленности};$$

$$\beta_{1600}^{720} = \frac{\nu_{1600}}{\nu_{720}} - \text{степень ароматичности относительно метиленовых групп } -\text{CH}_2;$$

$$\beta_{1600}^{720} = \frac{\nu_{1600}}{\nu_{720}} - \text{степень ароматичности относительно метильных групп } -\text{CH}_3;$$

$$C_{\text{ар}} = D_{1600}/D_{720} - \text{коэффициент ароматизированности Баттачариа};$$

$$C_O = D_{1710}/D_{1465} - \text{коэффициент окисленности};$$

$$C_S = D_{1030}/D_{1465} - \text{коэффициент осерненности};$$

$$C_{\text{пар}} = (D_{720} + D_{1380})/D_{1600} - \text{коэффициент парафинистости (алифатичности)};$$

$$C_{\text{разв}} = D_{1464}/D_{720} - \text{коэффициент разветвленности}.$$

В результате было выявлено (рис. 2), что содержание изопарафиновых углеводородов практически одинаково во всех образцах. Степень ароматичности относительно метилено-

вых и метильных групп ниже, а содержание ароматических структур (коэффициент Баттарчариа) выше для масла 250 NS, плотность также имеет самое большое значение (879 кг/м³). По коэффициенту осерненности и содержанию серы (0,094 %) в масле 250 NS можно констатировать, наличие в масле сернистых соединений.

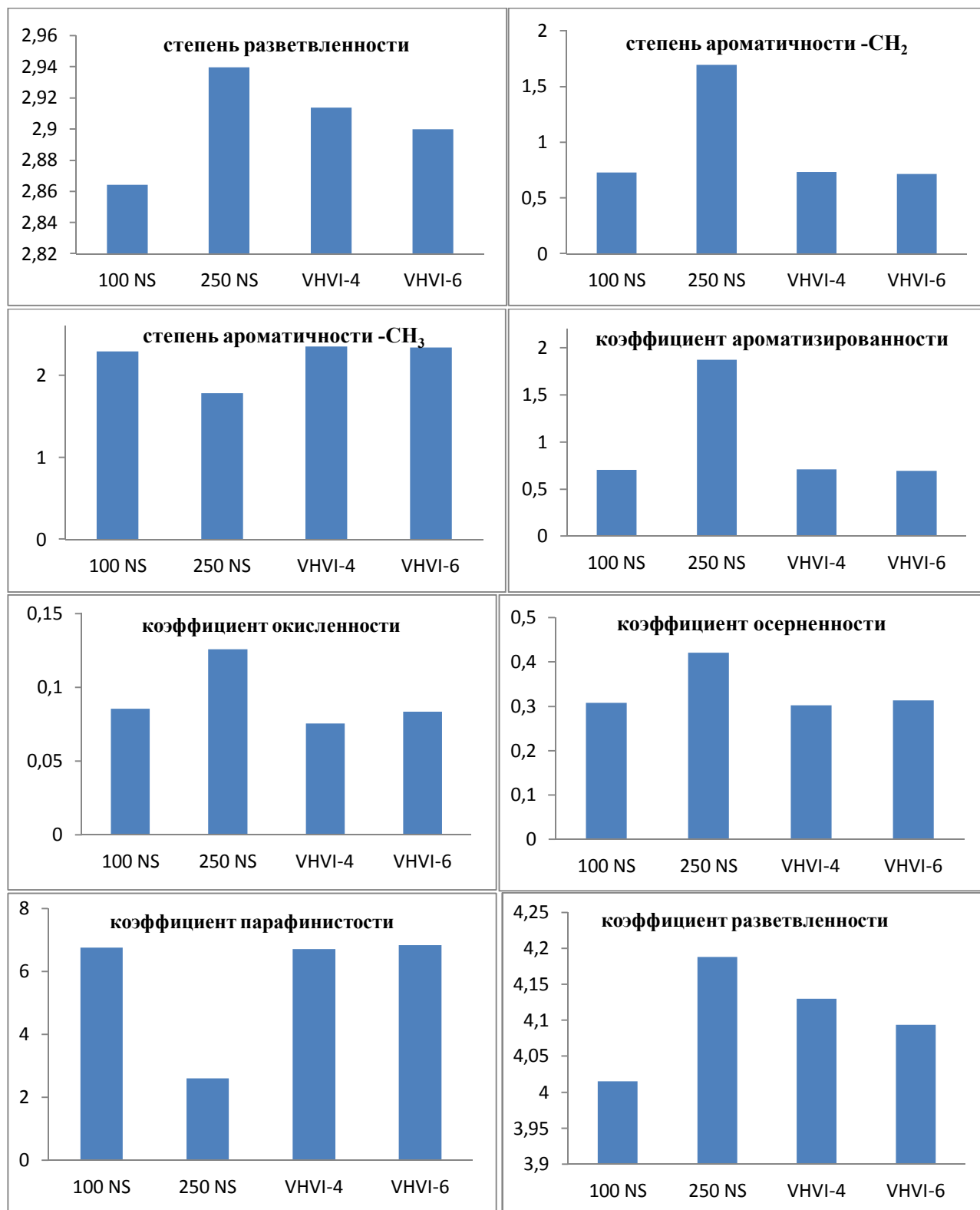


Рис. 2. Коэффициенты, отражающие групповой состав исследуемых масел

Сопоставление спектров образцов базовых масел показывает отличие, которое может быть связано со спецификой природы и химическим составом рассматриваемых веществ, образующихся в процессе очистки прямогонных масляных фракций от нежелательных примесей. А рассматриваемый спектральный диапазон может быть использован для выявления классификационных признаков группового химического и структурно-группового состава базовых масел минерального происхождения.

Библиографический список

1. Иванова Л.В., Сафиева Р.З., Кошелев В.Н. ИК-спектметрия в анализе нефти и нефтепродуктов. // Вестник Башкирского государственного университета. – 2008. Т.13. - №4. С. 869-874.
2. Капустин В.М., Тонконогов Б.П., Фукс И.Г. Технология переработки нефти: Учеб. Пособие. В 4-х частях. Часть третья. Производство нефтяных смазочных материалов. -М.: Химия, 2014. -328с.
3. Белл Р.Дж. Введение в Фурье-спектроскопию. М.: Мир, 1975. -160 с.
4. Тарасевич Б.Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии. М.: МГУ им. Ломоносова, 2012. – 22с.
5. Агаев С.Г., Землянский Е.О., Гуляев С.В. // Нефтепереработка и нефтехимия. 2006. №3. С. 226-229
6. Каюкова Г.П., Киямова А.М., Нигмедзянова Л.З., Рахманкулов Ш.М., Шарипова Н.С., Смелков В.М. // Нефтехимия. 2007. Т.47. №5. С. 349-361.

УДК 66-963; ГРНТИ 61.51.19

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ И ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ

Т.П. Шуварилова, Я.Э. Лебедев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, lebedev.y.e@rsreu.ru*

Аннотация. Рассматривается щелочная очистка тяжелых нефтяных остатков и котельных топлив на НПЗ. В лаборатории проведен ряд испытаний, на основе которых сделаны выводы об эффективности и дальнейшем развитии метода.

Ключевые слова: щелочная очистка, нефтепереработка, тяжелые нефтяные остатки, котельные топлива, содержание серы.

RESEARCH OF CONDITIONS OF CARRYING OUT ALKALI PURIFICATION OF DIESEL FRACTIONS AND HEAVY PETROLEUM RESIDUE

T.P. Shuvarikova, Y.E. Lebedev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, lebedev.y.e@rsreu.ru*

The summary. Alkali purification of heavy oil residues and fuel oils at oil refinery is considered. A number of tests on the basis of which conclusions are drawn on effectiveness and further development of a method is carried out to laboratories

Keywords: alkali purification, oil processing, heavy oil residues, fuel oils, sulfur content.

В связи с ужесточением общеевропейских стандартов к технологическим выбросам при сжигании моторных топлив важнейшей задачей НПЗ России является переход на производство экологически чистых моторных и котельных топлив.

Сжигание топлива приводит к загрязнению окружающей среды, что ухудшает экологическую обстановку.

В нефтяных остатках сосредоточены следующие соединения серы: сероводород, меркаптаны, сульфиды, тиофены и еще ряд структур с более сложным строением.

Сероводород H_2S – бесцветный газ, с неприятным запахом, ощутимый при небольших концентрациях. H_2S является наиболее токсичным в атмосфере предприятий по добыче и переработке нефти. В организм сероводород поступает в основном через органы дыхания и

в небольших количествах через кожу и желудок. При соприкосновении с влажной поверхностью слизистых, имеющих щелочную среду, H_2S реагирует с щелочами, образуя сульфиды, оказывающие прижигающее действие.

В небольших количествах сероводород угнетает центральную нервную систему, а в больших - вызывает паралич дыхательного и сосудистого центров.

Сероводород - высокотоксичный яд. При концентрации свыше 1000 мг/м^3 отравление наступает молниеносно, при концентрации $140\text{-}150 \text{ мг/м}^3$ и действии в течение нескольких часов наблюдается раздражение слизистых.

H_2S губительно влияет не только на человека, но и на всю живую природу!

Меркаптаны RSH – высокотоксичные сераорганические соединения, образуются при термическом воздействии на нефтяные соединения, содержащие серу. Меркаптаны обнаруживаются в воздухе нефтегазопромысловых и перерабатывающих заводов в меньших концентрациях, чем сероводород. RSH обладают ярко выраженным специфическим и отвратительным запахом. Сильные нервные яды, обладают наркотическим эффектом, вызывают паралич мышечных тканей.

Диоксид серы SO_2 – бесцветный газ с резким запахом, раздражает дыхательные пути, образуя на их влажной поверхности серную и сернистую кислоты. Он оказывает общее токсическое действие, нарушает углеводный и белковый обмен. Порог раздражающего действия диоксида серы находится на уровне 20 мг/м^3 , остротоксичны более высокие его концентрации (выше порога раздражения). При концентрации $20\text{-}60 \text{ мг/м}^3$ SO_2 обжигает слизистые дыхательные пути и глаза, при 120 мг/м^3 вызывает одышку, синюшность, человек переносит эту концентрацию только в течение 3 мин. При воздействии в течение 1 мин. в концентрации 300 мг/м^3 теряет сознание. Доказана зависимость частоты острых респираторных заболеваний и хронических заболеваний легких у взрослых и детей от загрязнения SO_2 атмосферного воздуха [1].

Поэтому стремление снизить содержание соединений серы в нефтепродуктах существует постоянно и реализуется повсеместно.

Широко известными и распространенными методами обессеривания является гидроочистка (ГО).

Легкая топливная продукция: дизельное топливо, керосин, бензин подвергаются гидроочистке, в результате которой содержания серы уменьшается в 98 – 99 раз.

Гидроочистка же тяжелых остатков является очень сложным и дорогостоящим процессом, осуществить который в больших масштабах за короткое время пока невозможно.

Тяжелые топлива подвергаются обессериванию лишь частично. Вводятся присадки-поглотители сероводорода, которые связывают его в малоактивные высокомолекулярные соединения, не обладающие токсичностью.

Высокомолекулярные соединения не оказывают токсического воздействия на окружающую среду и человеческих организм.

Но при сгорании котельного топлива они, как и все серосодержащие соединения вступают в окислительные реакции с образованием серного и сернистого газа. (SO_2 и SO_3).

Очистке щелочными реагентами от сероводорода в настоящее время подвергают только бензины и керосины.

Поэтому нами предлагается вариант щелочной очистки тяжелых нефтяных остатков и котельных топлив.

В результате процесса протекает следующая реакция:



Образуются солеобразные соединения растворимые в воде (тиолы, меркаптиды натрия и др.).

В лаборатории был выполнен ряд испытаний, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний

Вид топлива	Концентрация NaOH, %	Температура, °C	Время перемешивания, мин	Содержание серы, %	
				до очистки	после очистки
ДТ тяжелое	5	50	5	0,9641	0,9625
ДТ тяжелое	10	50	5	0,9641	0,0456
Мазут топочный	10	60	5	2,5059	2,3978
Мазут топочный	15	60	5	2,5059	2,2463
Мазут топочный	20	80	20	2,5059	1,7154

Результаты испытаний в лабораторных условиях показывает возможность снизить содержание серы в тяжелых нефтяных остатках и топочном мазуте с 2,5 % до 1,72%, т.е. почти в 1,5 раза.

При сгорании мазута с содержанием серы 2,51% в атмосферу выделяется 21 кг/ (т мазута) диоксида серы SO₂. При сгорании же мазута после щелочной очистки с содержанием серы 1,72% будет выделено 14,22 кг/ (т мазута).

После обработки щёлечью необходимо осуществить промывку водой для удаления щелочи до нейтральной среды. Нижний водный слой отстаивают и удаляют, в условиях лабораторий, из делительной воронки.

В промышленных условиях это может быть отстой и дренирование в резервуарах. Дренажная вода, содержащая тиолы, меркаптиды натрия и другие серосодержащие соединения, поступает на установку гидроочистки промышленной воды для гидроочистки от сульфидов. При поступлении в центр биологической очистки происходит удаление сульфатных серосодержащих соединений микроорганизмами.

1. Давыдова, С.Л. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде. Учебное пособие/ С.Л. Давыдова, В.И.Тагасов. - М.:изд-во РУДН, 2004 . - 105 с.

УДК 665.765; ГРНТИ 31.21.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭСТЕРОВОГО МАСЛА НА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

Д.В. Степанов, Д.С. Трунькин, Т.П. Шуварилова

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, trunkin.denis@yandex.ru

Аннотация. В работе приводится описание метода получения эстерового масла на лабораторной установке. Кроме того, работа содержит условия проведения испытания для получения эстерового масла.

Ключевые слова: эстеры, эстеровое масло, карбоновые кислоты, пентаэритрит, синтетические масла, базовые масла, этерификация, гидролиз.

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF RECOVERY OF ESTER OIL ON LABORATORY INSTALLATION

D.V. Stepanov, D.C. Trunkin, T.P. Shuvarikova

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, trunkin.denis@yandex.ru

The summary. This paper provides a description of the method of obtaining ester oil in laboratory settings. In addition, the work contains the test conditions for the production of ester oil.

Keywords: esters, ester oil, carboxylic acids, pentaerythritol, synthetic oils, base oils, etherification, hydrolysis

В последнее время увеличивается спрос на синтетические масла, в том числе эстеровые масла. В представленной работе рассматривается возможность получения эстерового масла в лабораторных условиях.

Используемые в настоящее время базовые масла представляют смесь базового масла и пакета функциональных присадок.

На сегодняшний день Американский институт нефти (API) выделяет моторные масла пяти групп, расположенные в порядке возрастания их качества[1].

I — минеральные обычные (применяется депарафинизация);

II — минеральные высокой степени очистки (применяется процесс гидроочистки);

III — гидрокрекингные масла (масла, прошедшие деструкторизацию на молекулярном уровне);

IV — полиальфаолефиновые масла; (синтетические)

V — эстеровые масла; (синтетические)

На товарных партиях масел применяется следующая классификация: минеральные, полусинтетические и синтетические.

К синтетическим относятся ПАО и эстеры. Главное преимущество синтетических масел – их однородность по сравнению с минеральными маслами. Благодаря этому снижается коэффициент трения, что позволяет двигателю дольше работать. Данные масла могут применяться в странах с холодным климатом.

Основой полиальфаолефиновых масел является полимер полиальфаолефин, поэтому данные масла являются на 100% синтетическими. Главный способ получения полиальфаолефиновых масел – синтез из этилена и бутилена. Главным недостатком масел на основе полиальфаолефина является их неполярность.

Высокое качество эстеровых масел вызывает повышенный интерес и желание провести исследование по возможности их получения. Эстеровые масла также относятся к синтетическим. Эстеры – это сложные соединения, относящиеся к сложным эфирам карбоновых кислот. Эстеры получают из карбоновых кислот и спиртов. Для того, чтобы получить эстеры требуется выбирать исходное сырье, отвечающее следующим критериям: в спиртах необходимо наличие нескольких ОН-групп, а кислоты должны иметь количество атомов С не менее шести. Также исходному сырью, из которого получают эфиры, следует быть разветвленным и насыщенным.

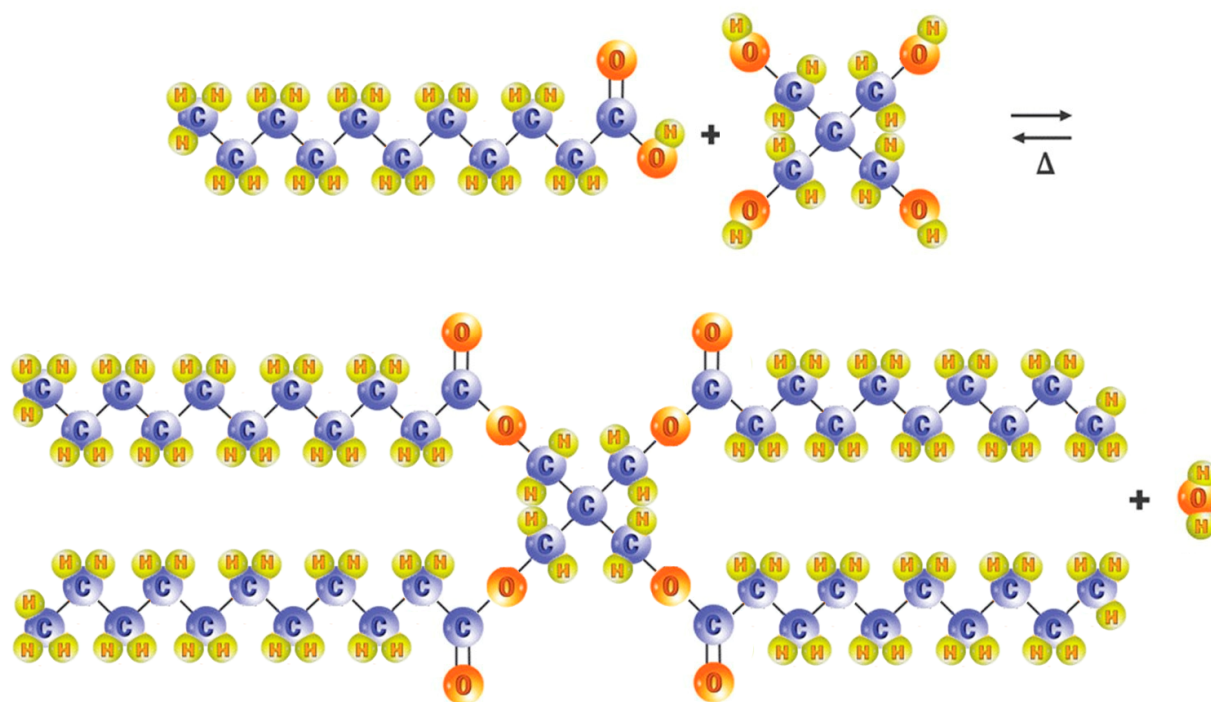


Рис. 1. Основная химическая реакция

На рисунке 1 показана основная химическая реакция, используемая для получения всех эфиров. При реакции карбоновой кислоты и спирта получается вода и эфир. Эта реакция является обратимой, потому что вода может реагировать с эфиром, разлагая его на исходные компоненты. Это явление называется гидролизом.

Как говорилось выше, цель данной работы – изучить возможность получения эстерового масла на лабораторной установке.

Сущность метода: синтетическое базовое масло получают этерификацией пентаэритрита смесью карбоновых кислот. Пентаэритрит – многоосновный спирт, он алкилируется, ацилируется, реагирует с азотной кислотой.

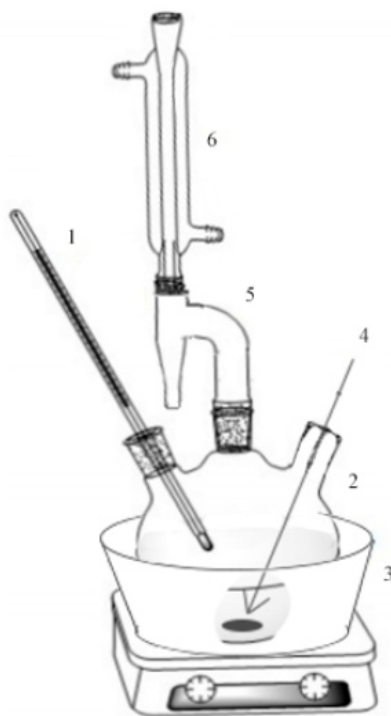


Рис. 2. Основная установка: 1 - термометр, 2 - реактор, 3 - масляная баня, 4 - магнитная мешалка, 5 - ловушка, 6 - обратный холодильник

Во время процесса используют избыток кислот (для большего выхода целевого продукта), сам процесс рекомендуется проводить 12 часов в среде о-ксилола.

Описание опыта

1) В трехгорлую колбу из термостойкого стекла загружают растворитель о-ксилол в количестве 200 мл, 21 г пентаэритрита, 25 г каприновой кислоты, 25 г энантовой, 35 г валериановой, 35 г изовалериановой. Далее устанавливают мешалку (механическую или магнитную), термометр, масляную баню, ловушку Дина-Старка для воды, образующейся при реакции, снабженной обратным холодильником как показано на рисунке 2. Реакцию проводят при температуре 140°C.

2) По окончании испытания отключают нагрев, разбирают установку. Образовавшийся эфир находится в круглодонной колбе вместе с о-ксилолом и остатками кислоты. Для того, чтобы отогнать остатки кислоты, собирается новая установка, как показано на рисунке 3. Устанавливают масляную баню, мешалку и капилляр, который позволяет избежать разбрызгивание исходной смеси, а также устанавливают обратный холодильник, алонж, приемник и вакуумный насос.

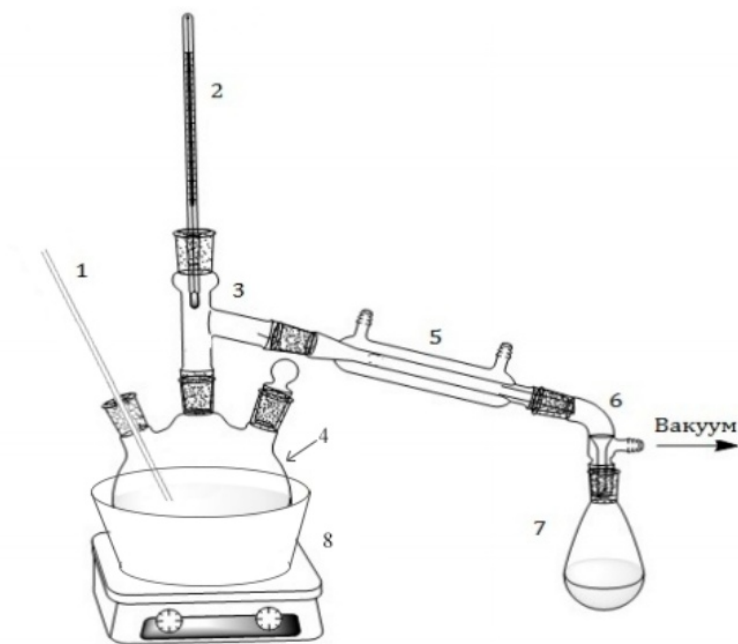


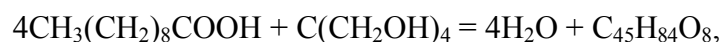
Рис. 3. Схема установки для отгона кислоты: 1- капилляр, 2 - термометр, 3 - переходник, 4- реактор, 5 - обратный холодильник, 6 - аллонж, 7 - приемник, 8 - масляная баня

3) По окончании реакции отключают вакуум, нагрев, разбирают установку. Образовавшийся эстер находится в круглодонной колбе, о-ксилол и остатки кислоты – в приемнике. Для более полного удаления остатков кислоты используют анионит (5-10% от массы продукта).

4) Производится замер эстера и определяется выход продукта по формуле:

$$\Phi = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{теор}}} . \quad (1)$$

Для этого рассчитывается масса эстера, которая может быть получена по уравнению реакции:



$M(\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4) = 136$ г/моль;

$M(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}) = 172$ г/моль;

$M(\text{H}_2\text{O}) = 18$ г/моль; $M(\text{C}_{45}\text{H}_{84}\text{O}_8) = 753$ г/моль.

$m(\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4) = 21$ г;

$m(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}) = 120$ г.

Определяется, какое вещество находится в избытке, а какое в недостатке. Для этого по выражению (2) находится количество вещества:

$$n = \frac{m}{M} , \quad (2)$$

$n(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}) = 0,6977$ моль;

$n(\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4) = 0,1544$ моль.

Значит, пентаэритрит находится в недостатке, и дальнейшие расчеты проводятся по спирту:

$$m(C_{45}H_{84}O_8) = 116,26 = m_{\text{теор}} = 116,26 \text{ г.}$$

После удаления о-ксилола и остатков кислот масса эстера составила: $m_{\text{практ}} = 85,17 \text{ г.}$

Выход продукта составил $\Phi = 73, 28\%$

Далее составляется таблица материального баланса (таблица 1)

Таблица 1. Материальный баланс

Реагенты, г	Продукты, г
Пентаэритрит, 21 г	Эстеровое масло, 85,17г
Изовалериановая кислота, 35 г	Кислоты, 14,87 г
Валериановая кислота, 35 г	Вода, 9,8 г
Энантовая кислота, 25 г	о-Ксилол, 176 г
Каприновая кислота, 25 г	Потери, 31,16 г
о-Ксилол, 176 г	
Итого: 317 г	Итого: 317 г

Достичь 100% выхода в данной химической реакции невозможно, потому что в конечном продукте всегда присутствует некоторое количество карбоновых кислот. Если остаток этой кислоты не контролировать должным образом, то он может привести к изменению свойств во время хранения или использования эстера. На рисунке 4 показано влияние остатка кислоты на устойчивость к гидролизу. Синий эфир имеет кислотное число (число миллиграмм гидроксида калия, необходимое для нейтрализации одного грамма нефтепродукта) 0,03, в нем практически не обнаруживается разложение в течение продолжительного теста. Фиолетовый эфир имеет начальное кислотное число 1, оранжевый – 3. К концу теста два последних эфира сильно разлагаются. Поэтому, во-первых, необходимо добиться максимальной степени превращения, а во-вторых, удалить реагенты, которые не вступили в реакцию.

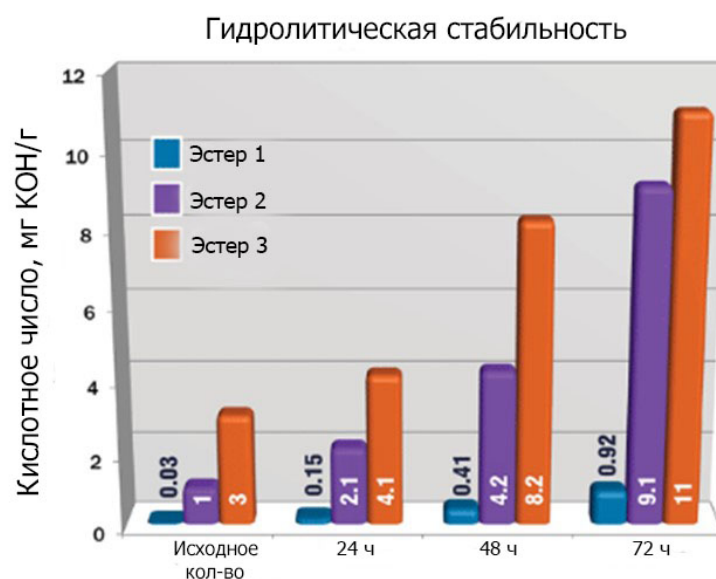


Рис. 4. Влияние остатка кислоты на устойчивость к гидролизу

Недостаток данного метода - для получения эстерового масла применяются высшие карбоновые кислоты C_5 - C_9 , однако в последнее время производство карбоновых кислот было прекращено.

Предлагаемое решение – для возобновления производства карбоновых кислот использовать бензин–рафинат, который содержит почти 100% парафиновых углеводородов. Далее выделить углеводороды C_6 – C_9 и направить их на окисление до карбоновых кислот.

Вывод: заявленный способ позволяет получить основу синтетического эстерового смазочного масла, исследовать его свойства и технические характеристики процесса.

Библиографический список

1. Капустин В. М, Технология переработки нефти. Часть 3 Производство нефтяных смазочных материалов – Москва:Химия, 2014.
- 2 Ахметов С.А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа – Санкт-Петербург: Недра, 2006.

УДК 665.642.5-404

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ БЕНЗИНА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ГИДРООЧИЩЕННОГО ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ

М.Д. Агаев, Т.П. Шуварикина

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

Аннотация. В настоящее время основной задачей нефтеперерабатывающей промышленности является углубление переработки нефти и улучшение качества получаемых товарных топлив. Пристальное внимание уделяется экологическим характеристикам таким, как содержание серы и ароматических углеводородов.

Процесс каталитического крекинга (КК) является одним из основных процессов углубленной переработки нефти. В процессе КК из тяжелого нефтяного сырья получают высокооктановый бензин, большое количество сжиженных газов.

В данной работе рассмотрены характеристики тяжелого бензина каталитического крекинга и легкого бензина каталитического крекинга, был определен фракционный состав бензина, были исследованы узкие фракции бензина, а также был определен химический состав бензина с помощью газового хроматографа "Хроматэк - Кристалл 5000".

Ключевые слова: каталитический крекинг, вакуумный газойль, гидроочистка, углеводороды, хроматограф.

CHANGES IN THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF CAT-CRACKED GASOLINE RECEIVED FROM HYDROTREATED VACUUM GASOIL

M.D. Agaev, T.P. Shuvarikova

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

Abstract. Currently, the main task of the refining industry is to deepen oil refining and improve the quality of the resulting commercial fuels. Careful attention is paid to environmental characteristics such as the content of sulfur and aromatic hydrocarbons.

The process of catalytic cracking (CC) is one of the main processes of deep oil refining. In the CC process, high-octane gasoline, a large amount of liquefied gas, is produced from heavy oil feedstock. In this paper, the characteristics of heavy catalytic cracking gasoline and light gasoline of catalysis cracking are considered, the fractional composition of gasoline was determined, narrow fractions of gasoline were studied, and the chemical composition of gasoline was determined using a "Chromatek Crystal 5000" gas chromatograph.

Keywords: catalytic cracking, vacuum gas oil, hydrotreating, hydrocarbons, chromatograph.

Увеличение глубины переработки нефти и получение из нее большего количества топливных продуктов, улучшение их качества, а также улучшение эксплуатационных и экологических свойств нефтепродуктов – основные задачи нефтеперерабатывающей промышленности на сегодняшний день в развитых странах. Экологические характеристики улучшаются за счет снижения содержания серы, ароматических и непредельных углеводородов в нефтепродукте.

Основным назначением КК является производство с максимальным выходом (до 50% и более) высокооктанового бензина из тяжелых вакуумных погонов нефтяного сырья.

В качестве сырья для крекинга применяется гидроочищенный вакуумный газойль. Предварительное облагораживание сырья с помощью процесса гидрогенолиза позволяет обеспечить повышенный выход бензина с низким содержанием серы, снизить процент коксуемости. Использование такого сырья дает следующие преимущества:

обеспечивается повышенная степень превращения (более высокий выход пропилена, сжиженного нефтяного газа и бензина; меньший выход легкого рециркулирующего газойля) за счет снижения содержания в сырье азота и ароматики;

уменьшается содержание серы в продуктах;

снижается количество выбросов SO_x и NO_x [1].

Таким образом, предварительная гидроочистка сырья для производства бензина каталитического крекинга дает возможность значительно снизить содержание серы в бензине каталитического крекинга, что позволяет вовлекать данный компонент при производстве товарного автомобильного бензина в значительно больших количествах без нарушения показателей качества по содержанию серы. Следовательно, можно вовлекать меньшее количество бензина риформинга, имеющее высокое содержание ароматических углеводородов. Можно также меньше вовлекать высокооктановых компонентов таких, как алкилат, метил-трет-бутиловый эфир.

Требования, предъявляемые к качеству нефтепродуктов, постоянно ужесточаются. С каждым годом значение по общему содержанию серы снижается. Сейчас содержание серы в товарном автомобильном бензине, согласно европейским стандартам Евро-5, не должно превышать 10 ppm, а Евро-6 – 8 ppm. Например, чтобы вовлечь 40 % бензина каталитического крекинга в производство товарного автомобильного бензина сейчас необходимо, чтобы его значение серы значительно снизилось. Поэтому встал вопрос о последующей гидроочистке тяжелой фракции бензина каталитического крекинга.

Для определения фракционного состава бензина использовался метод по ГОСТ 2177-99, разделение проводилось на аппарате АРН-ЛАБ-03 по Энглеру. В таблице 1 представлен углеводородный состав легкого бензина каталитического крекинга общего потока, который направляется в товарно-сырьевой цех, как компонент автомобильного бензина.

Таблица 1. Состав легкого бензина каталитического крекинга

Содержание углеводородов, % об.					
Парафины	Изопарафины	Ароматика	Нафтенy	Олефины	Итого
4,58	35,67	32,42	9,84	16,04	98,55

В таблицах 2 и 3 представлены результаты анализа разгонки на узкие фракции тяжелого бензина каталитического крекинга и легкого бензина каталитического крекинга.

Таблица 2. Результаты анализа тяжелого бензина каталитического крекинга по ГОСТ 2177-99

Объём, мл	Значение температуры, °С	Показатели серы, %
0	67	-
10	161	0,0379
20	172	0,0318
30	180	0,0321
40	188	0,0295
50	193	0,0294
60	200	0,0272
70	205	0,0296
80	211	0,0347
90	220	0,0398
98	228	0,0485

В потоке тяжелого бензина каталитического крекинга общее содержание серы равно 0,03405%

Таблица 3. Результаты анализа легкого бензина каталитического крекинга по ГОСТ 2177-99

Объём, мл	Значение температуры, °С	Показатели серы, %
0	45	-
10	55	0,0092
20	66	0,0075
30	73	0,0066
40	82	0,0065
50	88	0,0067
60	99	0,0098
70	112	0,0118
80	128	0,0111
90	150	0,0123
98	184	0,0147

В потоке легкого бензина каталитического крекинга общее содержание серы равно 0,00962%.

В результате разделения были получены 10 узких фракций, которые в дальнейшем были исследованы на газовом хроматографе "Хроматэк - Кристалл 5000" на содержание углеводородов.

В таблице 4 представлены результаты исследования на хроматографе.

Таблица 4. Распределение углеводородов во фракциях тяжелого бензина каталитического крекинга

№п/п	Фракция	Содержание углеводородов, % об.					
		Парафины	Изопарафины	Ароматика	Нафтенy	Олефины	Итого
		2,817	12,518	79,174	3,075	2,416	100,000
1.	нк (67) – 161	4,379	26,131	47,787	10,606	11,098	100,000
2.	161 – 172	3,217	17,583	69,823	7,048	2,329	100,000
3.	172 – 180	3,235	14,641	76,828	4,347	0,950	100,000
4.	180 – 188	3,520	12,613	80,361	2,791	0,715	100,000
5.	188 – 193	3,874	11,092	82,879	1,626	0,529	100,000
6.	193 – 200	4,433	9,368	84,682	1,040	0,477	100,000
7.	200 – 205	5,493	7,804	85,732	0,586	0,385	100,000
8.	205 – 211	7,599	5,924	86,024	0,213	0,240	100,000
9.	211 – 220	11,398	4,531	83,892	0,068	0,111	100,000
10.	220 – кк (228)	16,519	3,286	80,101	0,038	0,055	100,000

Исследовались показатели серы у продукта бензина каталитического крекинга с использованием в качестве сырья вакуумный газойль (эксплуатировался до 2006 года) и гидроочищенный вакуумный газойль. Полученные графики представлены на рисунках 1 и 2.

Для улучшения качества бензина каталитического крекинга по содержанию серы предлагается разделить широкую фракцию на легкую фракцию, имеющую невысокое содержание серы (0,00962%), и тяжелую фракцию, имеющую значение серы (0,03405%). Оптимальным вариантом является соотношение тяжелой фракции к легкой, равный 80% к 20%. Тяжелую фракцию бензина следует направить на установку бензиновой гидроочистки. Содержание серы после гидроочистки снизится без больших материальных затрат, так как имеется линия гидроочистки бензина.

Без процесса гидроочистки тяжелой фракции бензина каталитического крекинга в товарно-сырьевой цех поступал бы следующий поток:

$$80\% \times S_{\text{л}} + 20\% \times S_{\text{т}} = 100\% \times S_{\text{см}},$$

где $S_{\text{л}}$ – показатель серы легкого бензина каталитического крекинга;

$S_{\text{т}}$ – показатель серы тяжелого бензина каталитического крекинга;

$S_{\text{см}}$ – показатель серы смеси;

$$S_{\text{см}} = 0,014506.$$

При гидроочистке тяжелой фракции бензина каталитического крекинга в товарно-сырьевой цех поступает общий поток бензина каталитического крекинга следующим образом:

$$80\% \times S_{\text{л}} + 20\% \times S_{\text{г\text{от}}} = 100\% \times S_{\text{см}},$$

где $S_{\text{л}}$ – показатель серы легкого бензина каталитического крекинга;

$S_{\text{г\text{от}}}$ – показатель серы гидроочищенного тяжелого бензина каталитического крекинга;

$S_{\text{см}}$ – показатель серы смеси;

$$S_{\text{см}} = 0,007756.$$

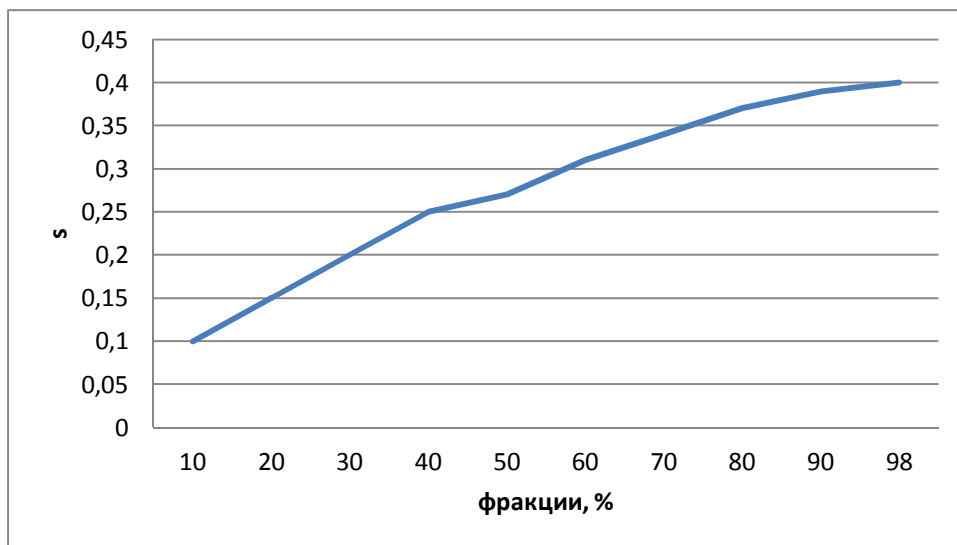


Рис. 1. Распределение серы по узким фракциям в бензине каталитического крекинга на негидроочищенном сырье

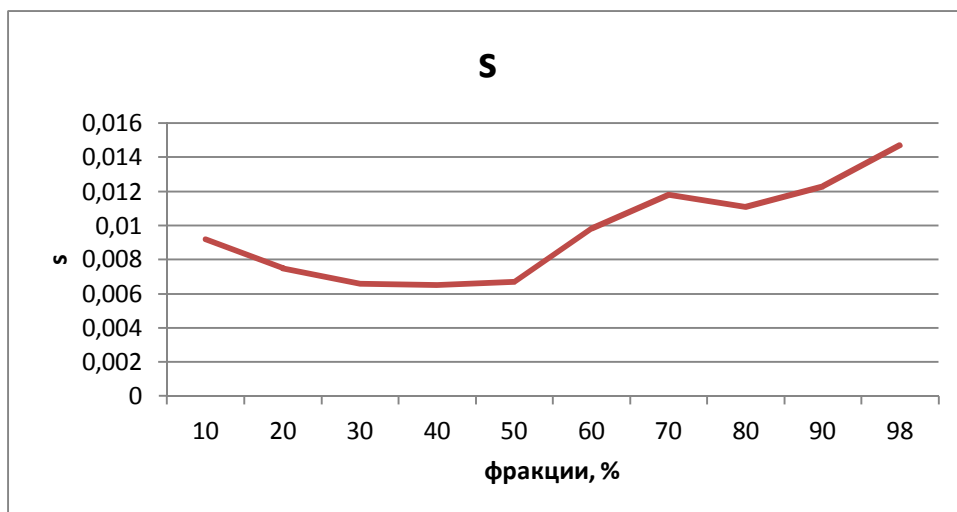


Рис. 2. Распределение серы по узким фракциям в бензине каталитического крекинга на гидроочищенном сырье

Выводы

- 1) предварительная гидроочистка сырья позволяет получать автомобильный бензин с лучшими качественными характеристиками;
- 2) распределение серы в бензине имеет нелинейную зависимость, а более сложную, так как в результате реакции гидроочистки могут выборочно разрушаться серосодержащие молекулы из различных фракций;
- 3) тяжелый бензин каталитического крекинга после процесса гидроочистки будет иметь меньшее содержание непредельных углеводородов, так как снизится количество двойных связей углерод-углерод. Таким образом, снизится содержание фактических смол в бензине и улучшится его стабильность.

УДК 66.066; ГРНТИ 31.19.15

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИХ СОВМЕШТНОМ ПРИСУТСТВИИ

М.В. Воронов, Л.П. Качанова, Д.В. Степанов, Д.С. Трунькин

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, maks.otlichnik98@yandex.ru

Аннотация. В работе приводится подробный качественный анализ состава смеси, полученной для исследования, при помощи методов аналитической химии. Кроме того работа содержит детальную схему анализа смеси неизвестных веществ.

Ключевые слова: классификация анионов, основанная на образовании малорастворимых солей бария и серебра, сероводородная классификация катионов, групповой реагент, аналитическая группа.

IDENTIFICATION OF UNKNOWN SUBSTANCES AT THEIR JOINT PRESENCE

M.V. Voronov, L.P. Kachanova, D.V. Stepanov, D.C. Trunkin

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, maks.otlichnik98@yandex.ru

The summary. The paper provides a detailed qualitative analysis of the composition of the mixture obtained for the study, using the methods of analytical chemistry. In addition, the work contains a detailed scheme of analyzing a mixture of unknown substances.

Keywords: classification of anions, based on the formation of low soluble salts of barium and argentum, hydrogen sulfide cation classification, group reagent, analytical group.

Каждое органическое или неорганическое вещество можно распознать, прибавляя к нему соответствующий реагент, однако зачастую приходится иметь дело со смесью веществ. Для определения состава смеси в аналитической химии применяется качественный анализ, представляющий собой определение химических элементов, ионов, атомов, атомных групп, молекул в анализируемом веществе или смеси веществ. При добавлении к смеси определённых реагентов наблюдается выпадение осадка или выделение газа, что позволяет точно определить качественный состав смеси.

Очевидно, что для точной идентификации веществ в неспециализированных лабораториях необходимо наличие либо одних и тех же катионов, либо одних и тех же анионов, потому что иначе, во-первых, в растворе эти вещества могут прореагировать, что может затруднить определение, а во-вторых, невозможно будет точно сказать, какие анионы с какими катионами изначально сочетаются в смеси.

Зачастую на складах при химических лабораториях скапливается большое количество веществ, на склянках с которыми со временем выцветает, загрязняется или удаляется этикетка с названием и формулой вещества, поэтому качественный анализ может быть применён для распознавания неизвестного соединения.

Аналитическое исследование начинается после получения образца, выдаваемого преподавателем.

Важнейшим действием перед исследованием смеси веществ является определение того, какие соединения содержатся в полученной пробе. При нагревании исследуемая смесь не «коптит», поэтому делается заключение о том, что она содержит только неорганические соединения. Смесь состоит только из солей, так как единственной порошкообразной кислоты – кремниевой, в пробе нет, потому что данная кислота не растворима в воде, а полученная смесь полностью растворяется в воде; щелочи в пробе не присутствуют, так как они мыльные и при разбавлении водой выделяют большое количество теплоты. Также отсутствие кислот и щелочей в смеси подтверждается с помощью индикаторов. Далее приводится процесс открытия анионов и катионов, входящих в исследуемую смесь.

Основой идентификации послужили классификация анионов, основанная на образовании малорастворимых солей бария и серебра, а также сероводородная классификация катионов [1].

Начинается исследование с анализа III группы анионов, включающей в себя нитрит-, нитрат- и ацетат-анионы [1]. В пробирку к исследуемой смеси добавляется дистиллированная вода (впоследствии это будет называться «раствор») и раствор дифениламина ($C_6H_5-NH-C_6H_5$) [2]. Реакции, состоящей в интенсивном синем (васильковом) окрашивании раствора, не наблюдается, следовательно, данные анионы в пробе не содержатся.

II группа анионов включает анионы хлора, брома, йода, бромат-, цианид-, роданид- и сульфид-анионы [1]. В пробирку в качестве группового реагента к исследуемому раствору добавляется нитрат серебра [2]. Наблюдается выпадение белого творожистого осадка, что свидетельствует о присутствии в смеси хлорид-анионов.

I аналитическая группа включает сульфат-, сульфит-, тиосульфат, оксалат-, карбонат-, тетраборат-, фосфат-, арсенат-, арсенит- и фторид-анионы [1]. В пробирку к раствору приливается по каплям раствор хлорида бария в нейтральной среде [2]. Выпадение осадка не наблюдается, следовательно, смесь не содержит данные исследуемые анионы.

Далее определяются катионы, содержащиеся в смеси, с помощью сероводородной классификации катионов [1].

Для V группы катионов, состоящей из катионов серебра, одновалентной ртути и свинца [1], групповым реагентом является раствор соляной кислоты, но, поскольку хлорид-анион был открыт ранее в растворимых солях, то можно заключить, что надобность определять V группу катионов, которая образует с хлором нерастворимые соединения, отпадает.

Групповым реагентом для IV аналитической группы катионов, содержащей катионы двухвалентной меди, кадмия, двухвалентной ртути, висмута, двух- и четырёхвалентного олова, трёх- и пятивалентной сурьмы и трёх- и пятивалентного мышьяка [1], является раствор сульфида натрия в присутствии соляной кислоты [2]. Реакция не приводит к образованию осадка, следовательно, проба не содержит данные катионы.

Проводится исследование III аналитической группы катионов. Она включает катионы алюминия, трёхвалентного хрома, цинка, двухвалентного марганца, двух- и трёхвалентного железа, кобальта и никеля [1]. Приливая в качестве группового реагента раствор сульфида натрия [2], наблюдается образование чёрного осадка, что свидетельствует о том, что смесь содержит один или несколько катионов данной группы. Вследствие такой неопределённости проводятся индивидуальные реакции.

Первой реакцией определяется, содержатся ли в смеси катионы алюминия и двухвалентного марганца. К растворённой в воде смеси приливается раствор гидроксида натрия [2]. В результате образуется синий осадок, который говорит о том, что в смеси нет катиона алюминия, так как гидроксид алюминия – белый осадок, и нет катиона марганца, так как гидроксид марганца (II) – студнеобразный светло-розовый осадок.

Второй реакцией определяется содержание катиона трёхвалентного хрома в исследуемом растворе. В пробирку к пробе приливается раствор гидроксида калия для создания щелочной среды и затем добавляется свежеприготовленный раствор перманганата калия [2]. В результате реакции окраска раствора не стала красно-фиолетовой, а осталась просто фиолетовой, следовательно, ионов трёхвалентного хрома в смеси нет.

Следующей реакцией анализируется содержание в смеси катионов трёхвалентного железа и цинка путём прибавления к исследуемому раствору свежеприготовленного раствора гексацианоферрата (II) калия (жёлтой кровяной соли) [2]. Должен получиться тёмно-синий осадок берлинской лазури (гексацианоферрата (II) железа) или белый осадок гексацианоферрата (II) калия-цинка, однако образовался зелёный студенистый осадок, из чего заключается, что катионов трёхвалентного железа и цинка в смеси также не присутствует.

Далее определяется катион двухвалентного железа вследствие добавления к анализируемому раствору свежеполученного раствора гексацианоферрата (III) калия (красной кровяной соли) [2]. В результате реакции должен получиться синий осадок турнбулевой сини (гексацианоферрата (III) железа), однако образовался бурый студенистый осадок, который свидетельствует о том, что данного иона в пробе нет.

Далее определяется катион кобальта в анализируемой смеси. Для этого добавляется в пробу нитрит калия в уксуснокислой среде [2]. Наблюдается выпадение зеленовато-жёлтого осадка, с течением времени переходящего в жёлтый, гексанитрокобальтата (III) калия. Это свидетельствует о том, что в смеси содержатся катионы кобальта.

Последней дополнительной для III аналитической группы реакцией проверяется содержание катиона никеля в смеси. В пробирку к раствору исходной смеси добавляется спиртовой раствор диметилглиоксима (реактив Чугаева) [2]. В результате образуется малорастворимое в воде внутрикомплексное соединение розово-красного цвета – никельдиметилглиоксим, что свидетельствует о наличии в пробе ионов никеля.

Далее исследуется II аналитическая группа катионов: кальция, стронция и бария [1]. В качестве группового реагента берётся раствор карбоната натрия [2], который со всеми вышеперечисленными катионами даёт белый осадок. В исследуемой пробе выпадает светло-розовый студенистый осадок, который намекает на то, что данных ионов в пробе не идентифицировано.

Теперь исследуется I группа катионов, для которых группового реагента не существует [1], однако многие из них можно открыть индивидуальными реакциями. Самой простой реакцией является распознавание катиона аммония, который при нагревании даёт аммиак, который можно идентифицировать по запаху. Другим способом катион аммония можно определить, действуя на исследуемую смесь щёлочью [2]. В ходе реакций и нагревания аммиак не выделялся, следовательно, катиона аммония в смеси нет.

Следующим представителем данной группы является катион лития, который можно определить по реакции взаимодействия с фосфат-анионом. К смеси добавляется раствор фосфата натрия [2], в результате чего не получается белый осадок фосфата лития, следовательно, данных катионов среди исследуемых веществ не было обнаружено.

Далее происходит определение катиона калия в смеси. К раствору добавляется несколько капель концентрированной уксусной кислоты и раствор гексанитрокобальтата (III) натрия [2]. Образуется жёлтый осадок гексанитрокобальтата (III) натрия-дикалия, что подтверждает наличие в исходной смеси катионов калия.

Катион магния определяется с помощью гидрофосфата натрия [2]. В результате реакции не образуется белого осадка фосфата магния-аммония, поэтому данный катион не присутствует в смеси.

Итак, когда все реакции остались позади, формулируется качественный вывод на основе полученных данных об открытых ионах. В ходе исследования были идентифицированы катионы кобальта, никеля, калия и анионы хлора. Поэтому теперь не составит труда назвать все соединения, входящие в анализируемую смесь. Это хлорид кобальта, хлорид никеля и хлорид калия.

Таким образом, проведение качественного анализа в аналитической химии позволяет лучше представлять механизм реакций и возможные продукты, что является основой для открытия катионов и анионов, различных функциональных групп отдельных соединений или смеси веществ.

Ниже на рисунке 1 приводится схема проведения исследования комплекса неизвестных солей, присутствующих в полученной пробе.

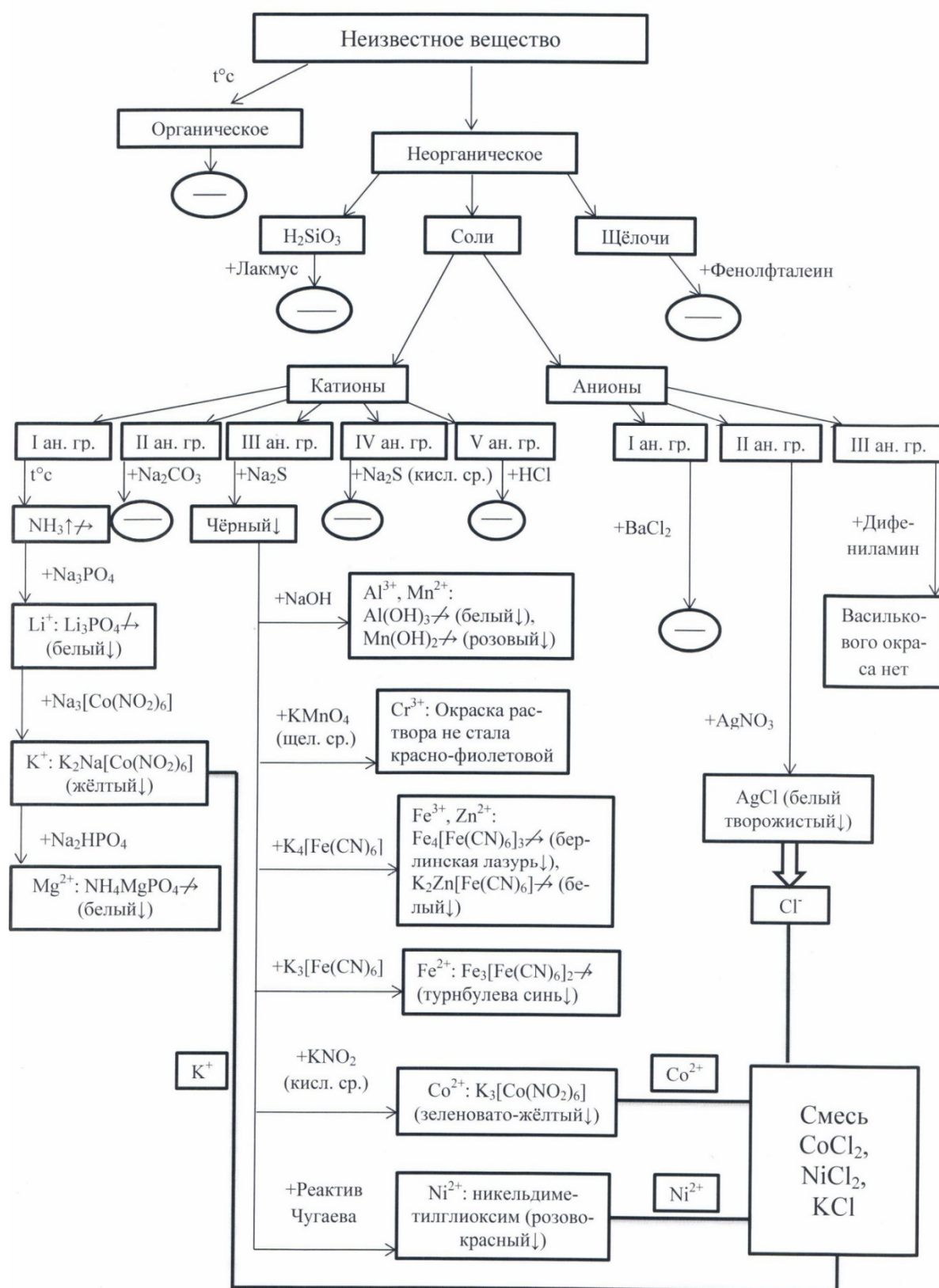


Рис. 1. Схема исследования смеси неизвестных веществ.

Библиографический список

1. Шапиро, С.А. Аналитическая химия / С.А. Шапиро, М.А. Шапиро // М.: Высшая школа. – 1979. – 384 с.
2. Крешков, А.П. Основы аналитической химии / А.П. Крешков // М.: Химия. – 1970. – 472 с.

УДК 665.658.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕНЗИНА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА В УСЛОВИЯХ ГИДРООЧИСТКИ

З.М. Байдавлетова

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

Аннотация. В данной работе описаны результаты исследования показателей качества бензина каталитического крекинга.

Ключевые слова: бензины, сера, компонентный состав, плотность, октановое число.

RESEARH OF THE CHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF GASOLINE OF CATALYTIC CRACKING IN THE CONDITIONS OF HYDRO-CLEANING

Z.M. Baidavletova

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, mah.rina@yandex.ru*

Annotation. This paper describes the results of a study on the quality of catalytic cracking gasoline.

Keywords: gasolines, sulfur, component composition, density, octane number.

Введение

Общемировые тенденции улучшения экологического состояния на планете требуют от нефтепереработчиков выпускать топлива по более жестким стандартам и нормам, содержащие все меньше и меньше нежелательных компонентов. В частности в последние 10 лет наблюдается стойкая тенденция на снижение содержания серы в моторных топливах. [1]

Основным из базовых компонентов высокооктановых товарных и автобензинов является бензин каталитического крекинга.

Существенным недостатком бензина каталитического крекинга является 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 содержание серы в товарном бензине не более 50 и 10 мг/кг соответственно. [2]

Существует два основных подхода к снижению содержания серы в бензине каталитического крекинга, которые заключаются либо в предварительной подготовке сырья, либо в удалении серы из уже полученного бензина.

Цель и содержание работы

Целью работы является исследование закономерности распределения соединений серы, углеводородов и октанового числа (исследовательским методом) в бензине каталитического крекинга.

Результаты лабораторных исследований показателей качества бензина каталитического крекинга

В качестве объекта исследования был взят бензин каталитического крекинга, для которого, чтобы снизить содержания серы использовались два подхода:

1. предварительно подготовили сырье – используя процесс гидроочистки сырья (вакуумного газойля);

2. разделили широкую фракцию бензина каталитического крекинга на легкую и тяжелую с последующей гидроочисткой тяжелой фракции. Легкая фракция бензина используется как компонент автомобильного бензина без очистки. [3]

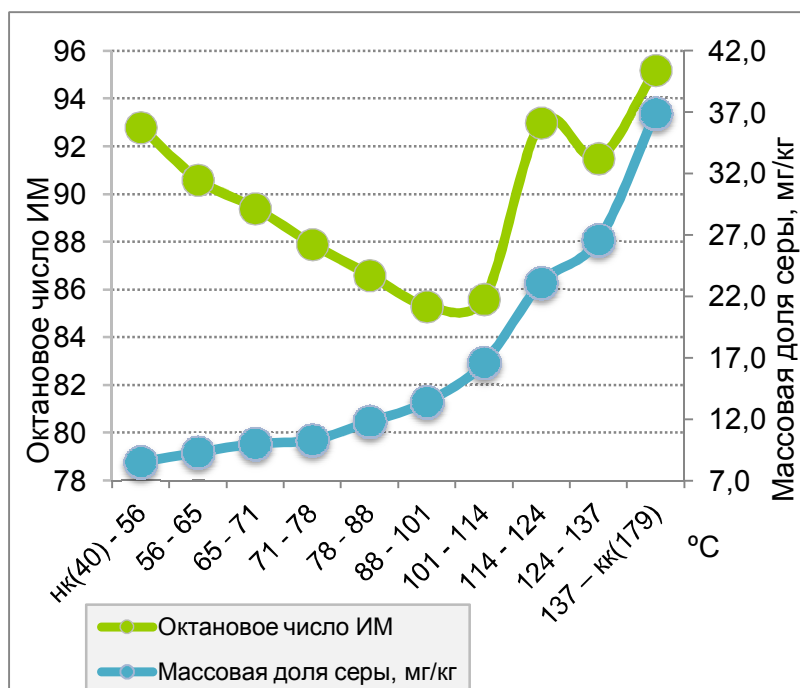
В данной работе были исследованы все фракции бензина каталитического крекинга, в частности:

- легкий бензин каталитического крекинга;
- тяжелый бензин каталитического крекинга;
- тяжелый бензин каталитического крекинга гидроочищенный;
- стабильный бензин каталитического крекинга (смесь легкого и тяжелого гидроочищенного бензинов каталитического крекинга, который в дальнейшем используется при компаундировании товарных бензинов).

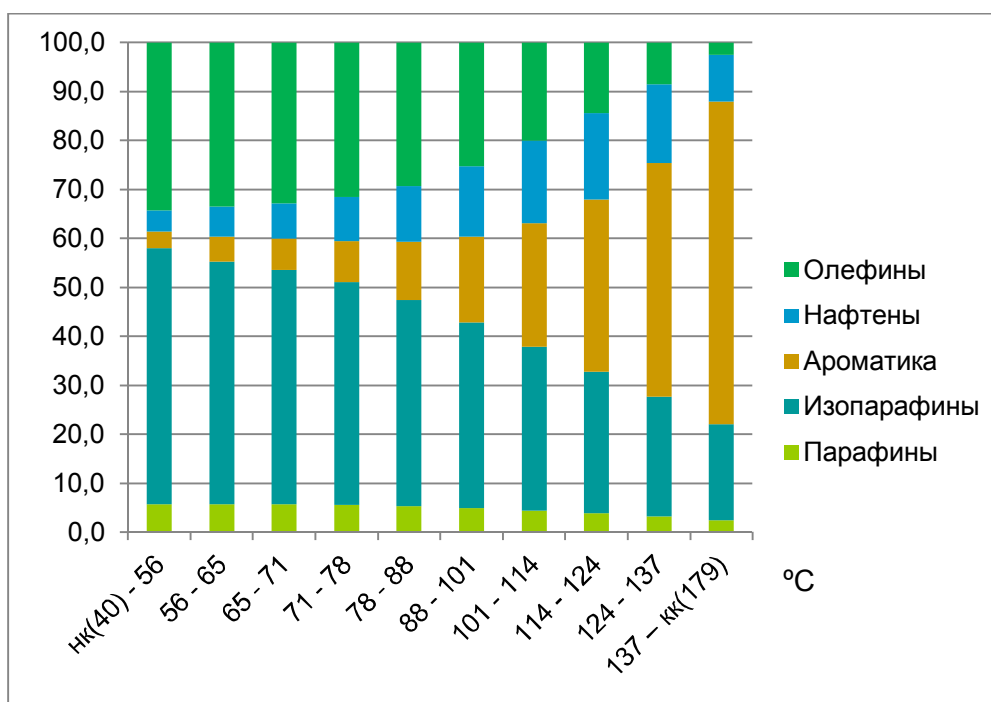
Таблица 1. Показатели качества бензина каталитического крекинга

Компонент		Легкий бензин	Тяжелый бензин	Тяжелый бензин гидроочищенный	Стабильный бензин
Массовая доля серы, мг/кг		17,0	100,7	3,0	14,5
Плотность при 20°C, кг/м ³		732,9	855,5	857,1	767,5
Октановое число ИМ		91,6	95	93,7	92,4
Содержание углеводородов, % масс.	Парафины	4,6	2,4	3,3	4,8
	Изопарафины	37,1	10,5	11,8	40,2
	Ароматика	25,0	82,5	81,5	30,4
	Нафтены	11,2	2,8	3,4	10,2
	Олефины	22,1	1,9	0,0	14,3

Для того чтобы разобраться как распределены показатели качества по фракциям, была проведена работа по разделению каждого из бензинов каталитического крекинга на узкие фракции по 10 % отгонам. Значения показателей качества по узким фракциям приведены на рисунках 1-4.

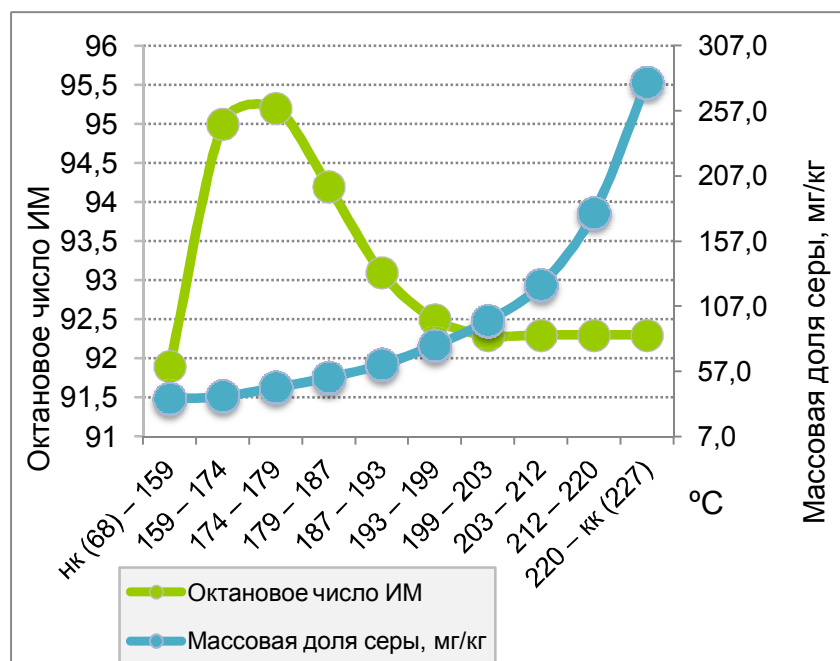


а)

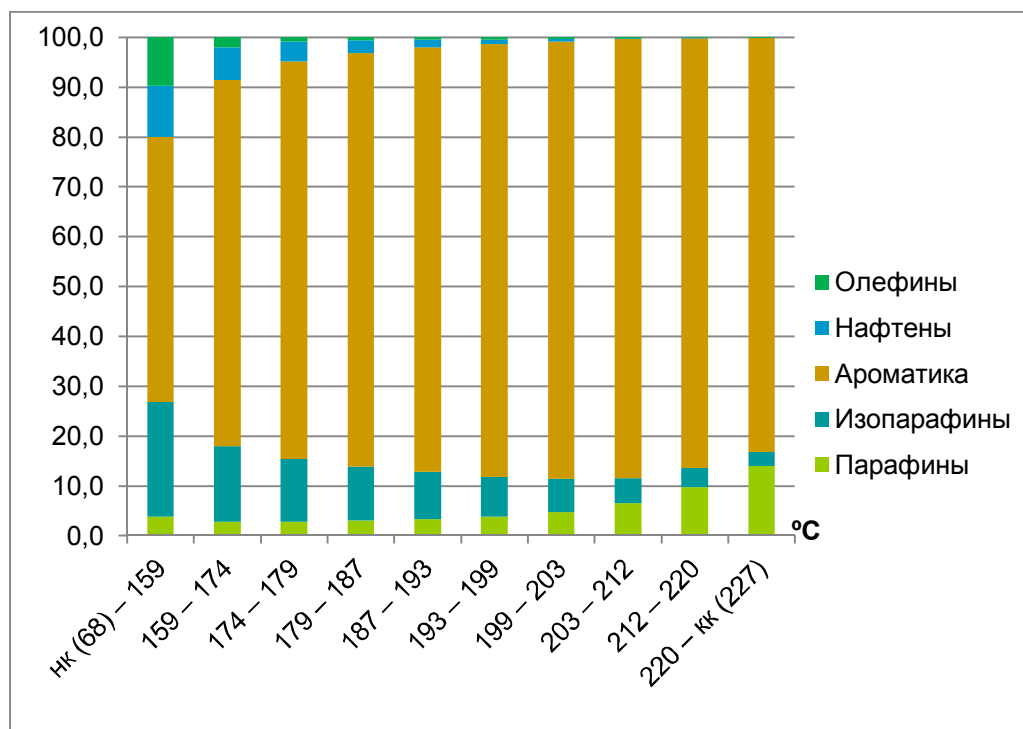


б)

Рис. 1. Показатели качества легкого бензина каталитического крекинга
(а – октановое число и массовая доля серы, б – групповой состав по ГОСТ 32507 (метод Б))

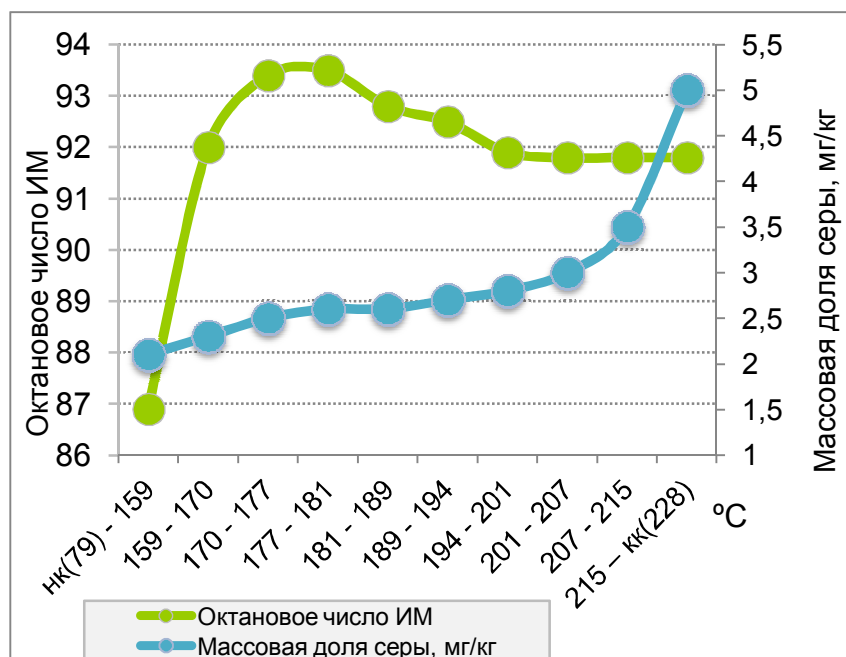


а)

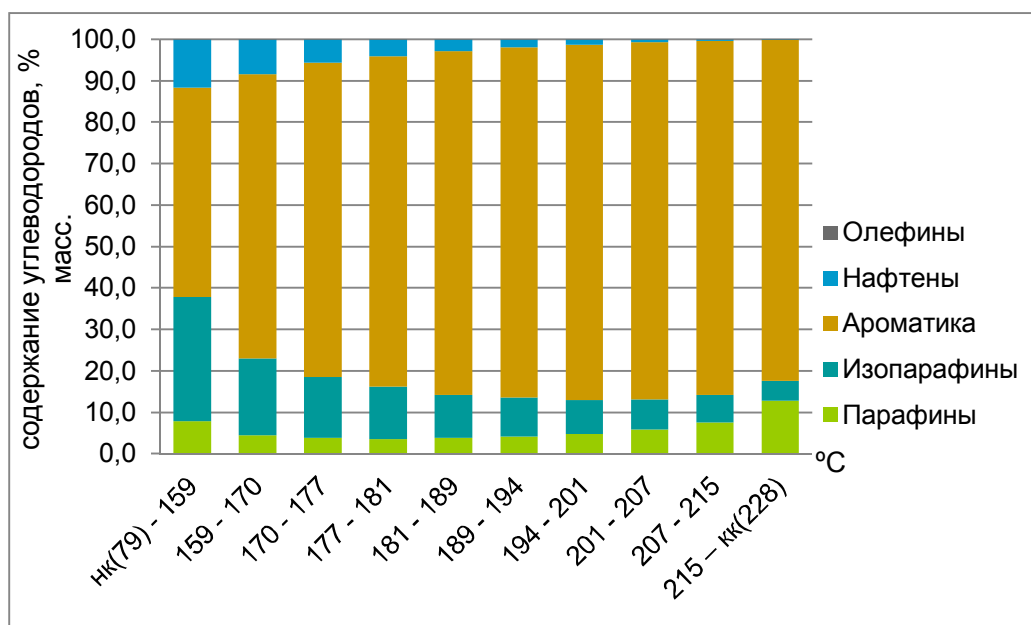


б)

Рис. 2. Показатели качества тяжелого бензина каталитического крекинга (а – октановое число и массовая доля серы, б – групповой состав по ГОСТ 32507 (метод Б))

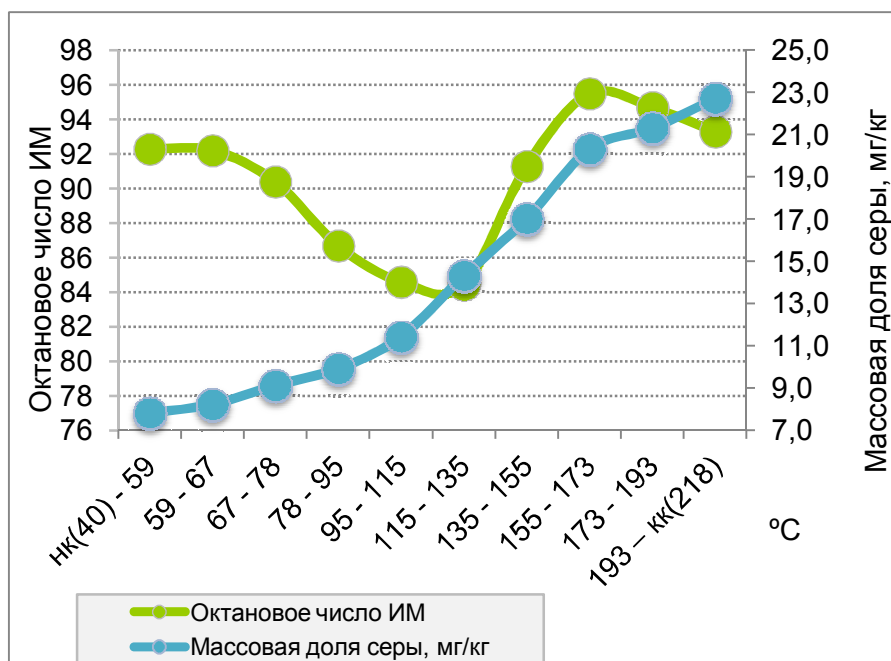


а)

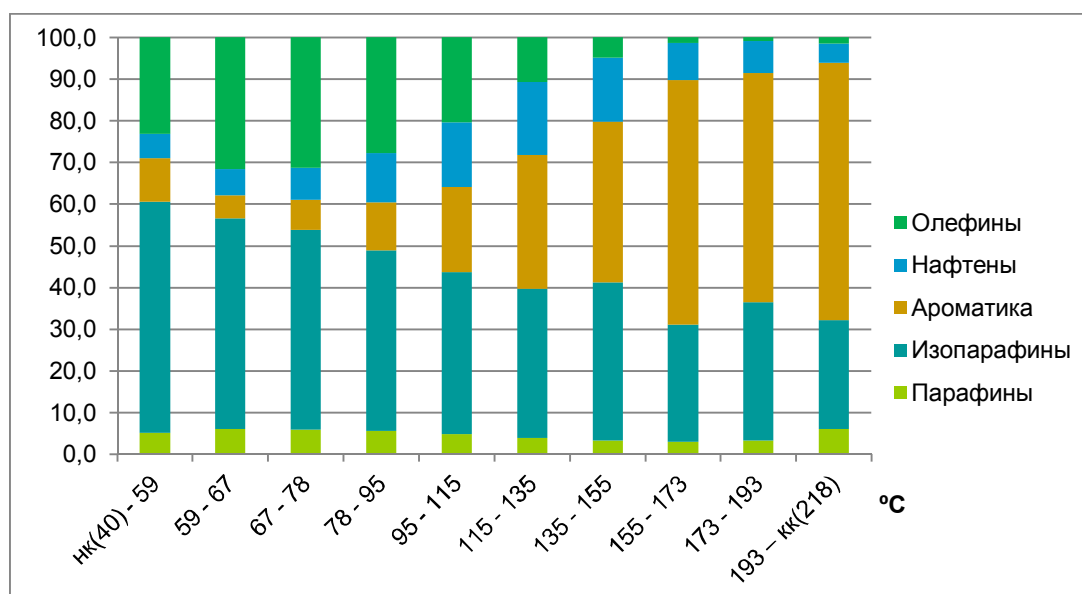


б)

Рис. 3. Показатели качества тяжелого бензина каталитического крекинга гидроочищенного (а – октановое число и массовая доля серы, б – групповой состав по ГОСТ 32507 (метод Б))



а)



б)

Рис. 4. Показатели качества стабильного бензина каталитического крекинга
(а – октановое число и массовая доля серы, б – групповой состав по ГОСТ 32507 (метод Б))

В результате проведенных исследований установлено следующее:

- соединения серы во всех фракциях бензина каталитического крекинга распределены по узким фракциям по возрастанию к концу кипения;
- олефиновые углеводороды, обладающие высокими октановыми числами в основном содержатся в легких фракциях легкого бензина, а ароматические в основном сосредоточены в тяжелых фракциях тяжелого бензина;
- связь между структурой углеводородов и их антидетонационными свойствами установлена достаточно давно. Известно, что октановые числа бензинов зависят от их химического состава [4]. Из этого следует, что распределение ОЧИ объясняется их химическим составом;

- в процессе гидроочистки тяжелого бензина каталитического крекинга наблюдается снижение октанового числа, полное гидрирование олефинов, а глубина обессеривания по общей сере составляет в среднем 97 %масс.

Причиной снижения октанового числа бензина каталитического крекинга после гидроочистки является увеличение содержания в тяжелом бензине низкооктановых алканов, образующихся при гидрировании олефинов.

Библиографический список

1. Каминский Э.Ф., Хавкин В.А. Глубокая переработка нефти: технологические и экологические аспекты. М.: Издательство «Техника», 2001.-384 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. Поконова, Ю.В. Нефть и нефтепродукты: справочник. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2003. – 528 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ДЕПРЕССОРНО-ДИСПЕРГИРУЮЩЕЙ ПРИСАДКИ

Д.А. Глебов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань*

Аннотация. В данной работе проанализирована работа депрессорно-диспергирующей присадки (ДДП) при вовлечении в дизельные топлива с установки гидроочистки дизельного топлива с различным молекулярно-массовым распределением (ММР) n-парафинов. Приводятся необходимые условия для более эффективной работы ДДП. Проводится анализ фракционного состава и ММР n-парафинов при получении товарной продукции соответствующей и не соответствующей требованиям ГОСТ 32511-2013. Описываются проблемы с качеством товара и работы ДДП при повышении значений ММР n-парафинов и предлагаются способы их решения.

Ключевые слова: дизельное топливо, эффективность действия депрессорно-диспергирующей присадки, влияние изменения молекулярно-массового распределения n-парафинов на качество.

STUDY OF THE INFLUENCE OF HYDROCARBON COMPOSITION OF DIESEL FUELS ON THE EFFECTIVENESS OF THE ACTION OF DEPRESSOR-DISPERSANT ADDITIVE

D.A. Glebov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan*

Annotation. In this paper, the work of the depressant-dispersing additive (DDA) with the involvement of o-paraffins in diesel fuels from the diesel hydrotreatment unit with different molecular weight distribution (MWD) is analyzed. Provides the necessary conditions for more effective operation of the DDA. The analysis of fractional composition and MWD o-paraffins in the production of marketable products that meet and do not meet the requirements of GOST 32511-2013. The problems with the quality of goods and the work of DDA with increasing values of MWD o-paraffins are described and ways to solve them are proposed.

Keywords: diesel fuel, the effectiveness of the depressant-dispersing additive, the effect of changes in the molecular weight distribution of n-paraffins on quality.

1. Введение

В настоящее время дизельные топлива играют огромную роль для современного транспорта нашей страны и являются одним из главных видов топлив на сегодняшний день. Это связано с возросшим объёмом 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, для производства используют более дешёвое топливо, выдают значительно большую мощность.

Дизельные двигатели совершенствуются из года в год как для удовлетворения возросшего потребительского спроса, так и для соответствия самым высоким экологическим стандартам. Эти требования ставят перед производителями дизельного топлива сложную задачу по выпуску высококачественной продукции, особенно в холодное время года, когда к качеству дизельного топлива предъявляются повышенные требования.

2. Производство дизельного топлива

Для производства дизельного топлива из нефти на установках первичной переработки 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 дизельного топлива регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 32511-2013. При производстве дизельного топлива одним из основных критичных низкотемпературных показателей качества этого стандарта для нефтеперерабатывающих заводов являются предельная температура фильтруемости [2]. Особенно это проявляется при производстве дизельных топлив межсезонных сортов и топлив с дополнительными требованиями установленными заказчиками-потребителями, производимых на основе летнего дизельного топлива.

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].

Для соответствия этим требованиям при производстве межсезонного и зимнего дизельных топлив на заводах в дизельное топливо с установок гидроочистки добавляют депрессорно-диспергирующие присадки. Но по многочисленным испытаниям и различным исследованиям выявлено, что эффективность работы ДДП во многом зависит от ММР н-парафинов в дизельных топливах.

3. Испытание и анализ

Для решения проблемы получения качественного топлива при вовлечении ДДП в гидроочищенное дизельное топливо на первом этапе был проведён анализ фракционного состава дизельных топлив с установки гидроочистки дизельного топлива, имеющую двухблочную структуру, на основе которых было получено топливо соответствующего (базовое топливо 1) и не соответствующего (базовые топлива 2 и 3) качества требованиям ГОСТ 32511-2013. Анализ фракционного состава проводился по условиям необходимым для эффективной работы ДДП, а именно:

Разница температур выкипания 90% и 20% должна быть 80 °C и более;

Разница между концом кипения (КК) и температурой выкипания 90% должна составлять не ниже 19 °C;

КК должен быть не ниже 315 °C

Результаты этих испытаний сведены в таблице № 1.

Таблица 1. Результаты исследования фракционного состава дизельных топлив с установки гидроочистки за разные периоды

Анализируемый показатель		Базовое топливо 1	Базовое топливо 2	Базовое топливо 3
		°С	°С	°С
90%-20%	I блок	84	90	87
	II блок	92	90	87
КК-90%	I блок	22	22	22
	II блок	27	22	21
КК	I блок	349	354	352
	II блок	332	354	351

Из данных показателей видно, что все анализируемые топлива отвечают условиям необходимым для эффективной работы ДДП, имеют схожий фракционный состав, за исключением показателей КК, свидетельствующий об увеличении в составе топлива высокоплавких и труднорастворимых н-парафинов.

На втором этапе с помощью хроматографа было проанализировано ММР н-парафинов в анализируемых топливах. Было выявлено, что н-парафины в топливе содержат в себе структуры от C7 до C28. ММР н-парафинов в базовых дизельных топливах представлено в таблице №1.

Таблица 2. ММР н-парафинов в базовых топливах

№ п/п	Наименование парафинов	Базовое топливо 2		Базовое топливо 1		Базовое топливо 3	
1.	C7	0,016	1,55	0,05	1,93	0,068	1,559
2.	C8	0,128		0,1		0,111	
3.	C9	0,284		0,21		0,263	
4.	C10	0,446		0,55		0,388	
5.	C11	0,68		1,02		0,729	
6.	C12	1,043	8,34	1,23	9,06	0,996	8,344
7.	C13	1,323		1,27		1,462	
8.	C14	1,618		1,7		1,51	
9.	C15	1,56		1,82		1,558	
10.	C16	1,51		1,66		1,479	
11.	C17	1,288	5,21	1,38	4,28	1,339	4,947
12.	C18	1,161		1,13		1,179	
13.	C19	1,169		1		1,01	
14.	C20	1,173		0,88		1,062	
15.	C21	1,043		0,72		1,02	
16.	C22	0,667		0,55		0,676	

17.	C23	0,377	0,71	0,36	0,92	0,372	0,642
18.	C24	0,222		0,28		0,198	
19.	C25	0,08		0,16		0,055	
20.	C26	0,022		0,09		0,017	
21.	C27	0,006		0,03		0	
22.	C28	0		0		0	
Сумма		15,82		16,19		15,492	

По ММР н-парафинов в топливах получили график, показанный на рисунке № 1.

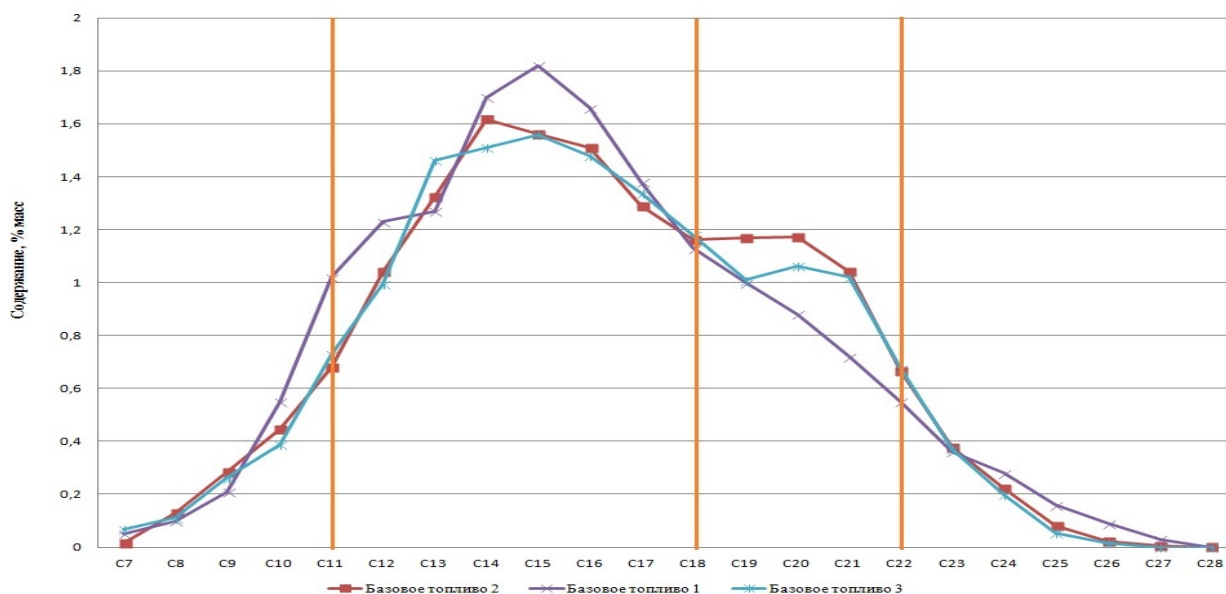


Рис. 1. График ММР н-парафинов в базовых дизельных топливах

Из анализа испытаний получили следующие данные:

- у базового топлива 1 большее количество н-парафинов приходится на область от C11 до C17 (9,06 против 8,34 и 8,344);
- у базового топлива 1 больше общего количества н-парафинов (16,19 против 15,82 и 15,492);
-
- однако у базовых топлив 2 и 3 значительно больше содержания труднорастворимых углеводородов области от C18 до C28 (5,92 и 5,589 против 5,2).

На третьем этапе в базовые топлива вводилась депрессорно-диспергирующая присадка HFA 4819 и полученное дизельное топливо анализировалось по показателю качества ПТФ не выше - 17 °С, что соответствует дизельному топливу сорт С с дополнительными требованиями от потребителя (данный вид топлива взят, так как его ПТФ ниже, чем у сорта Е – ПТФ -15 °С). По результатам третьего этапа получили необходимые концентрации дозировки для получения ПТФ не выше - 17 °С:

- Базовое топливо 1 – 400 гр/тн (ПТФ - 17 °С);
- Базовое топливо 2 – 1000 гр/тн (ПТФ - 17 °С);
- Базовое топливо 3 – 1000 гр/тн (ПТФ - 17 °С);

В результате исследования выявлено, что:

1. По фракционному составу топлива отвечают условиям эффективной работы депрессорно-диспергирующей присадки.

2. У базовых топлив 2 и 3 выше КК косвенно указывающий на увеличении в составе топлива высокоплавких и труднорастворимых н-парафинов.

3. У базовых топлив 2 и 3 значительно больше содержания труднорастворимых углеводородов области от С18 до С28, по сравнению с базовым топливом 1.

4. Выводы и рекомендации

1. Повышение количества н-парафинов области от С18 до С28 значительно влияет на эффективность действия депрессорно-диспергирующей присадки.

2. На повышение количества н-парафинов в области от С18 до С28 может косвенно указывать повышение КК.

3. Для наиболее эффективной работы депрессорно-диспергирующей присадки при изменениях в ММР н-парафинов необходимо:

- ввести лабораторный контроль за ММР н-парафинов 1 раз в сутки;
- при получении от лаборатории повышенных значений в ММР н-парафинов постепенно увеличить дозировку ДДП и усилить контроль за низкотемпературными показателями качества в ходовых резервуарах;
- провести анализ изменения фракционного состава с установок гидроочистки дизельного топлива;
- снизить количество компонентов в сырье установок гидроочистки дизельных топлив влияющих на повышенные значения в ММР н-парафинов, особенно в области от С18 до С28.
- обеспечить температуру гидроочищенного дизельного топлива при вовлечении присадки выше 30°C.

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВКИ ТОНКОСЛОЙНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АО "РНПК"

Е.В. Зубкова, Е.В. Воробьева

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань*

Аннотация. В статье представлен способ доочистки сточных вод на выходе с третичных отстойников. Рассмотрены актуальные экологические проблемы, связанные с вредными сбросами сточных вод города Рязани и промышленных предприятий Южного Промузла в реку Листвянка, а также предложены пути их решения.

Ключевые слова: экологические проблемы, вредные вещества, загрязнения, сточные воды, сбросы.

ECOLOGICAL ASPECTS OF USE OF INSTALLATION OF THIN LAYER MODULES FOR TERTIARY TREATMENT OF SEWAGE OF JSC RNPК

E.V. Zubkova, E.V. Vorobyova

Ryazan state radio engineering university,

Russia, Ryazan

Abstract. The way of tertiary treatment of sewage at the exit from tertiary settlers is presented in article. The current environmental problems connected with harmful dumpings of sewage of the city of Ryazan and the industrial enterprises of the Southern Industrial hub into the Listvyanka River are considered and also ways of their solution are proposed.

Keywords: environmental problems, harmful substances, pollution, sewage, dumpings.

1. Введение

Загрязнение воды - это глобальная экологическая проблема. Вода основной компонент технологического процесса. В результате технологического процесса образуются сточные воды. Так же вода необходима для существования всех живых организмов, в том числе и для человека. Особенно это актуально для нашего региона, так как на территории города Рязани располагается и успешно функционирует «Рязанская нефтеперерабатывающая компания» (АО «РНПК») — крупнейшее перерабатывающее предприятие ОАО «НК «Роснефть». Сточные воды требуют тщательной очистки независимо от того, возвращается она в технологический цикл или сбрасывается в природные водоемы.

К сожалению, существующие методы очистки сточных вод, не всегда результативны и зачастую не позволяют полностью снизить содержание примесей до величины ПДК. В связи с этим, поиск более эффективных методов очистки и доочистки сточных вод является важным для многих отраслей промышленности.

Основными видами загрязнений воды являются механическое, химическое, биологическое и физическое.

Все это приводит к глобальным последствиям загрязнения воды.

2. Очистные сооружения города Рязани

АО РНПК осуществляет регулируемый вид деятельности водоотведение, очистку сточных вод города Рязани и Южного промузла на установках механической и биологической очистки. 85% от всего объема сточных вод поступающих на очистку составляют хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды города Рязани. С биологических очистных сооружений завода осуществляется сброс очищенных сточных вод в реку Листвянка.

Проведен сравнительный анализ показателей качества сточных вод и питьевой воды (таблица 1).

Таблица 1. Показатели качества сточных вод АО РНПК и питьевой воды

Показатели	НДС установленное АО «РНПК», мг/дм ³	ПДК питьевой воды, мг/дм ³
БПК	3	Не норм.
Взв. в-ва	23,5	Не норм.
Сухой ост.	953	1000
Хлориды	204	350
Сульфаты	100	500
Сульфиды	0,05	0,003
Азот	0,39	2
Нитриты	0,02	3

Нитраты	9	45
Нефтепродукты	0,05	0,1
АПАВ	0,1	0,5
Фенол	0,001	0,001
Медь	0,001	1
Цинк	0,01	5
Железо	0,1	0,3
Фосфаты	0,2	Не норм.

Обратим внимание, что по 15 из 16 показателей, НДС установленный на сточные воды намного жестче, чем ПДК для питьевой воды.

Политика компании "Роснефть" направлена в область повышения 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.

3. Установка биологической очистки АО РНПК

Установка биологической очистки предназначена для очистки сточных вод с помощью микроорганизмов активного ила при интенсивной аэрации.

Активный ил представляет собой комплекс бактерий, необходимых для биологического очищения стоков. Выглядит активный ил как различные по размеру хлопья, плавающие в воде.

На рисунке 1 показана схема биологических очистных сооружений АО РНПК.

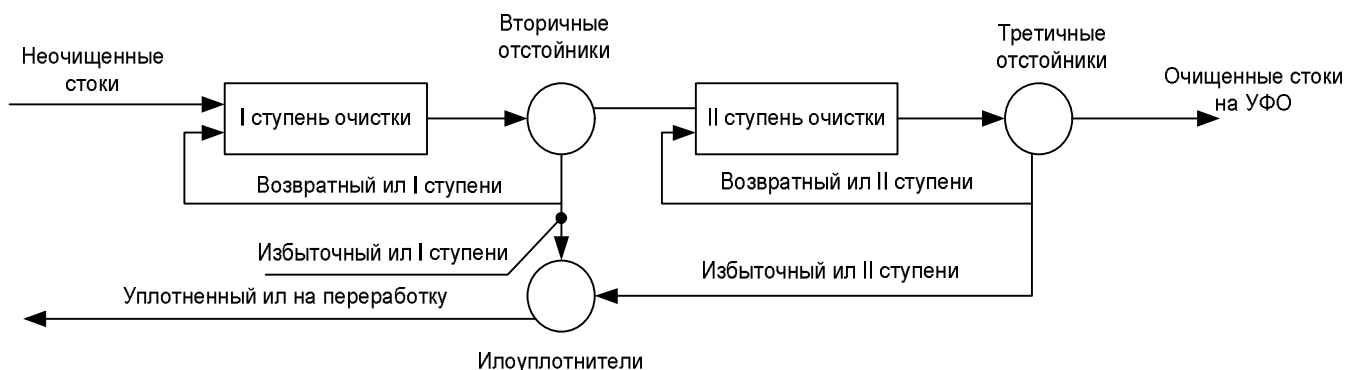


Рис. 1. Схема биологических очистных сооружений АО РНПК

С грабельного отделения сточные воды направляются на 1 ступень очистки в аэротенки, где происходит ввод активного ила и воздуха. Активный ил способен абсорбировать и окислять в присутствии кислорода воздуха органические вещества, которые являются загрязнителями.

Очищенные в аэротенках стоки и активный ил направляются на 2 и 3 ступень очистки, вторичные и третичные отстойники для отделения ила от очищенной воды. В этих отстойниках происходит отделение основной массы активного ила от очищенной жидкости и удаление осевшего активного ила.

Далее сточная вода поступает на станцию УФ-обеззараживания, после чего отводится через быстроток в реку Листвянка.

Избыточный ил с 1 и 2 ступени направляется в илоуплотнители, а затем на переработку.

В данной схеме на выходе с третичных отстойников отсутствует доочистка. Что бы задержать оставшийся ил перед УФ-станцией необходимо установить в лоток тонкослойный модуль

Тонкослойные модули предназначены для средней и глубокой очистки сточных вод от загрязняющих веществ, для того, что бы задерживать активный ил в сточной воде, который на данном этапе не проходит дополнительной очистки. Процесс осаждения примесей происходит в малом по толщине слое воды при ламинарном течении.



Конструкция представляет собой сборные сотоблоки из экструдированного (пенополистирол) профиля.

Преимущество таких модулей в том, что они позволяют повысить эффективность работы существующих ОС без реконструкции, также они характеризуются длительным сроком службы и быстрой сборкой.

Выводы

В процессе изучения установки биологической очистки выявлено, что с помощью установки тонкослойных модулей можно осуществлять доочистку сточных вод. Благодаря модулям эффективность очистки повыситься на 80-85%. Проект по установке тонкослойных модулей является экологичным и ресурсосберегающим.

Библиографический список:

1. Жмур Н.С. «Анализ внесенных предложений по реконструкции ОС в части биологической очистки сточных вод. Предложения по реализации оптимального варианта реконструкции»
2. Воробьева Е.В., А.С. Чердакова, С.В. Гальченко «Анализ существующих методов очистки сточных вод от нефтепродуктов»// Актуальные проблемы механизации и информатизации в повышении уровня почвенного плодородия в органическом земледелии: Материалы научно-практической конференции с международным участием. Рязань: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства», 2016.
3. Климухин В.Д., Посупонько С.В., Скрябин А.Ю. Статья: Использование тонкослойных модулей TUBEdek при реконструкции очистных сооружений канализации г. Ростова-на-Дону
4. Мешенгиссер Ю.М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод. М.: Вокруг цвета, 2012.
5. Технологический регламент АО «РНПК» установки биологической очистки цеха № 20.
6. Хенце М. Очистка сточных вод. М.: Мир, 2008. — 471 с.
7. Царенко А.Н. Май проект. Технологический отчет.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ПЕРЕОБВЯЗКА ТЕПЛООБМЕННИКОВ Т-4, Т-6 ПО ТЕПЛОНОСИТЕЛЮ С ГУДРОНА НА 2 МАСЛЯНУЮ ФРАКЦИЮ НА УСТАНОВКЕ ЭЛОУ-АВТ-4

П.В. Игумнов

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, igumnov.95@inbox.ru

Аннотация. В работе рассматриваются схемы переобвязки теплообменного оборудования в целях улучшения технологического режима и экономической выгоды на установке ЭЛОУ-АВТ-4 АО «РНПК».

Ключевые слова: теплообмен, цели проекта, переобвязка, теплоноситель, фактическая тепловая мощность.

PERFORMANCE HEAT EXCHANGER T-4, T-6 COOLANT WITH SLUDGE 2 OIL FRACTION IN THE INSTALLATION ELOU-AVT-4

P.V. Igumnov

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, igumnov.95@inbox.ru

The summary. The paper deals with the schemes of re-binding of heat exchange equipment in order to improve the technological regime and economic benefits at the installation of ELOU-AVT-4 of JSC "RNPK".

Keywords: Heat transfer, project goals, performance, coolant, actual heat power.

Теплообмен - процесс переноса энергии в форме тепла, происходящий между телами с различной температурой. Теплообмен происходит в аппаратах технологических установок нефтегазопереработки при непосредственном контактировании сред с разной температурой, а также в поверхностных аппаратах, например, в трубчатых печах, теплообменниках при нагревании исходного сырья и охлаждении получаемых продуктов. Движущей силой теплообмена является разность температур между более и менее нагретыми телами, при наличии которой тепло самопроизвольно, в соответствии со вторым законом термодинамики, переходит от более нагретого тела к менее нагретому. В результате теплообмена интенсивность движения частиц более нагретого тела снижается, а менее нагретого - возрастает.

На современном нефтеперерабатывающем заводе, где осуществляется глубокая переработка нефти, на изготовление аппаратов, предназначенных для нагрева и охлаждения, затрачивается до 30 % общего расхода металла на всей технологической установке. Высокая эффективность работы подобных аппаратов позволяет сократить расход топлива и электроэнергии, затрачиваемой на тот или иной технологический процесс и оказывает существенное влияние на его технико-экономические показатели. Поэтому изучению устройства и работы этих аппаратов, эффективности теплообмена, а также освоению методов их расчета, необходимо уделять особое внимание. Установка ЭЛОУ-АВТ-4 обладает самым большим количеством теплообменного оборудования на АО «РНПК».

Целями проекта являются:

- 1) Повышение температуры сырой нефти перед ЭЛОУ, что позволит лучше обессоливать и обезвоживать нефть.
- 2) Снижение затрат на электроэнергию, которых можно будет достичь путем снижения температуры перед АВГ за счет передачи количества теплоты сырой нефти в теплообменниках.

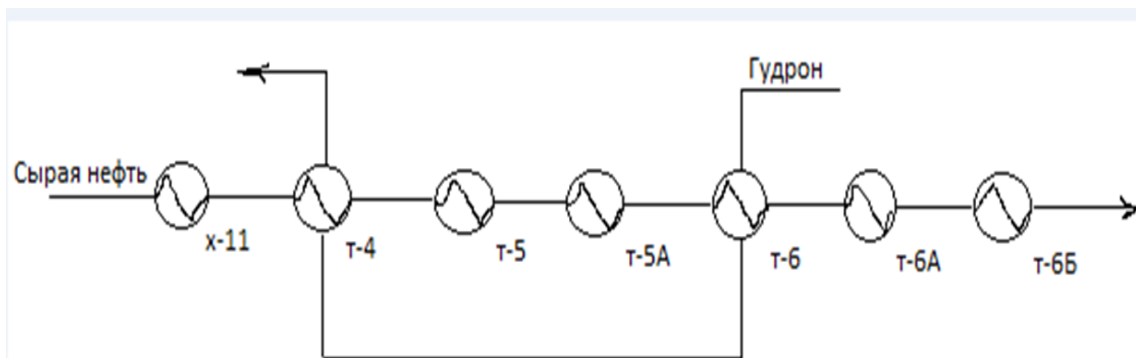


Рис.1. Существующая схема

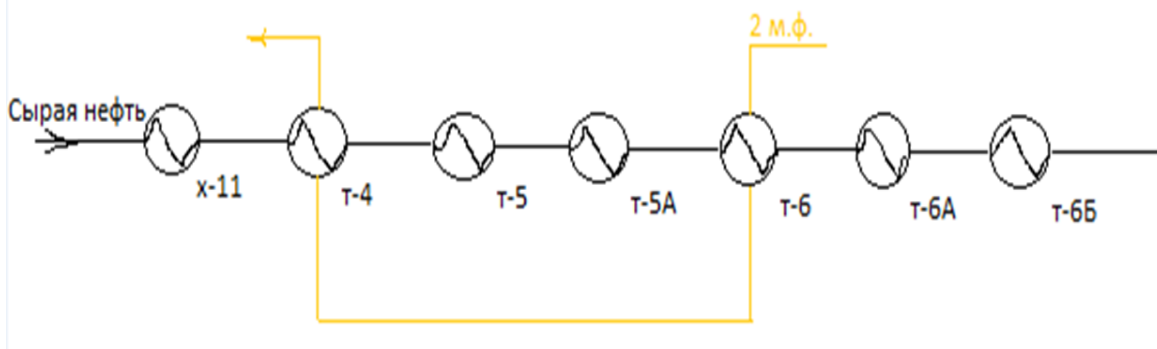


Рис.2. Предлагаемая схема

На рисунках 1 и 2 мы видим существующую и предлагаемую схему обвязки. По программе роir tap было выявлено, что в теплообменниках Т-4, Т-6 не осуществляется теплообмен между холодным и горячим теплоносителями. (Происходит обволакивание трубок теплообменников по причине высокой вязкости гудрона и небольшой температуры.)

Расчет производился по следующим формулам:

Фактическая тепловая мощность

$$Q_{cm} = \frac{2(t'_1 - t'_2)}{\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} + \frac{1}{W_m} \cdot \frac{e^{kF_{cm}/W_{m+1}}}{e^{kF_{cm}/W_{m-1}}}}, \quad (1)$$

где W_m – приведенный водяной эквивалент;

W_1 – водяной эквивалент трубного продукта;

W_2 – водяной эквивалент межтрубного продукта;

t'_1 – температура на входе трубного продукта;

t'_2 – температура на входе межтрубного продукта;

k – коэффициент теплопередачи;

F_{cm} – площадь поверхности теплообмена выбранного стандартного теплообменного аппарата.

$$\frac{1}{W_m} = \sqrt{\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)^2 - \frac{4P}{W_1 \cdot W_2}}, \quad (2)$$

где P – индекс противоточности.

Действительные температуры теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата определяются из следующих соотношений:

$$t''_{1\partial} = t'_1 - \frac{Q_{cm}}{W_1}, \quad (3)$$

где Q_{cm} - фактическая тепловая мощность.

$$t''_{2\partial} = t'_2 - \frac{Q_{cm}}{W_2} \quad (4)$$

где Q_{cm} - фактическая тепловая мощность.

Были рассчитаны с помощью указанных формул действительные температуры на выходе из теплообменников и определена температура в конце третьего потока, которая составляет 104 0С. Когда теплоносителем был гудрон температура составляла 85 0С.

Температура перед ЭЛОУ после смешения трех потоков будет составлять 101 0С, до изменения в схеме переобвязки она составляла 98 0С. Температура средневязкой масляной фракции перед АВГ будет 77 0С. Это позволит остановить АВГ и тем самым уменьшить затраты на электроэнергию.

Планируемые затраты для реализации проекта будут составлять 105000 рублей, в них войдут материал и строительно-монтажные работы. Прибыль по проекту будет составлять 1013214 руб. Затраты окупятся за 35 дней.

Необходимые мероприятия для реализации проекта: разработка рабочей документации силами проектно-конструкторского отдела АО «РНПК», что позволит сократить время проектирования для возможности реализации проекта в ближайший капитальный ремонт. А

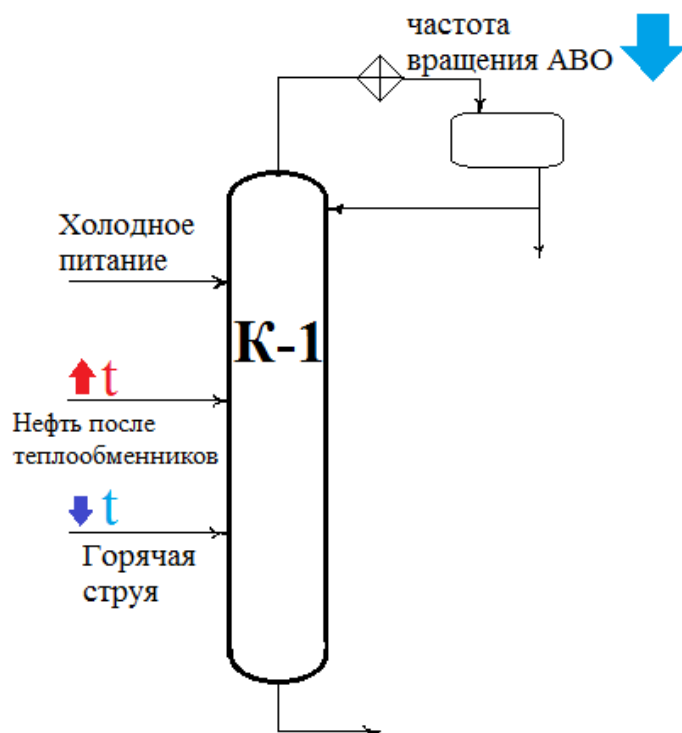


Рис. 3. Атмосферная колонна К-1

также проведение строительно-монтажных работ в рамках капитального ремонта. Так как затраты, необходимые для реализации проекта, невысоки, возможно внесение всех работ в дефектную ведомость, что исключит риск переноса проекта на более поздний срок.

Повышение температуры перед ЭЛОУ позволит лучше обессоливать и обезвоживать сырую нефть. А это в свою очередь приведет к:

1) увеличению температуры обессоленной нефти на входе в К-1, что позволит уменьшить температуру на печи П-1/2 (снизить температуру горячей струи), тем самым уменьшить расход топлива (рисунок 3);

2) снижению нагрузки по парам в колонне К-1, что приведет к уменьшению затрат на электроэнергию;

3) уменьшению коррозии аппаратов и трубопроводов.

При переобвязке данных теплообменных аппаратов планируется увеличение размеров площадки, что улучшит условия труда для работников, т.е. исключение работы на высоте при постановке и снятии заглушек на воздушниках теплообменных аппаратов и избежание контакта работников с высокотемпературными поверхностями теплообменников. А также упростит совершение обходов операторов и путь эвакуации при возникновении аварийной ситуации. На слайде мы можем увидеть существующую схему обвязки и планируемую.

В заключение данного проекта хотелось бы подчеркнуть, что данная переобвязка не влечет к замене теплообменного оборудования, т.к. рабочее давление и температура не будет превышать расчетные значения существующих аппаратов, согласно последних экспертиз. Остановка АВГ, помимо экономии электроэнергии, позволит снизить затраты на проведение ремонтных работ. (Будет отсутствовать наработка часов).

Все работы и материалы запланированы к реализации в капитальный ремонт года. Прибыль по проекту составит 1118214 руб. в год. Затраты окупятся за один межремонтный период

Библиографический список

1. Калинин А. Ф., Расчет и выбор конструкции кожухотрубного теплообменного аппарата: Методические указания по курсовому проектированию. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М: РГУ нефти и газа И.М. Губкина, 2011.
2. Ахметов С. А., Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002.

УДК 665.6.7; ГРНТИ 61.51.21

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ 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 моделирование прямой задачи химической кинетики средствами программы SMathStudio. Составлены кинетические уравнения для последовательной реакции, определены концентрации веществ, построены кинетические кривые и кривые скорости реакции по компонентам.

Ключевые слова: кинетика химических реакций, кинетическое уравнение, скорость реакции, концентрация вещества, система дифференциальных уравнений, кинетические кривые.

MODELING OF THE KINETICS OF SEQUENTIAL 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*

Annotation. In this paper we consider the modeling of the direct problem of chemical kinetics by means of SMath Studio. Composed of a kinetic equations for successive reactions, the concentration of substances built kinetic curves and curves of the reaction rate on the components.

Keywords: kinetics of chemical reactions, kinetic equation, reaction rate, substance concentration, system of differential equations, kinetic curves.

Все сложные химические реакции, протекающие в несколько стадий, с точки зрения их кинетики делятся на группы, отличающиеся друг от друга рядом специфических особенностей [1]. Различают последовательные, параллельные, сопряженные и цепные реакции. Последовательными называются сложные химические реакции, протекающие таким обра-

зом, что продукты, образующиеся на первой стадии, являются исходными веществами для следующей. В данной работе рассматривается моделирование последовательной реакции на примере постадийного хлорирования метана (рисунок 1).

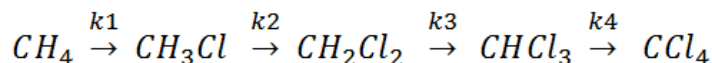


Рис. 1. Схема химической реакции

Согласно методическим рекомендациям [1, 2] по схеме химической реакции составляется математическая модель, которая представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, называемых кинетическими (рисунок 2). Здесь введены следующие обозначения: $C(CH_4)$ - концентрация метана; $C(CH_3Cl)$ - концентрация хлорметана; $C(CH_2Cl_2)$ - концентрация дихлорметана; $C(CHCl_3)$ - концентрация трихлорметана; $C(CCl_4)$ - концентрация четыреххлорметана; k_1, k_2, k_3, k_4 - константы скоростей стадий реакции.

$$\begin{cases} \frac{dC(CH_4)}{dt} = -k_1 \cdot C(CH_4) \\ \frac{dC(CH_3Cl)}{dt} = k_1 \cdot C(CH_4) - k_2 \cdot C(CH_3Cl) \\ \frac{dC(CH_2Cl_2)}{dt} = k_2 \cdot C(CH_3Cl) - k_3 \cdot C(CH_2Cl_2) \\ \frac{dC(CHCl_3)}{dt} = k_3 \cdot C(CH_2Cl_2) - k_4 \cdot C(CHCl_3) \\ \frac{dC(CCl_4)}{dt} = k_4 \cdot C(CHCl_3) \end{cases}$$

Рис. 2. Система кинетических уравнений

Данная модель отображает изменение концентраций веществ, участвующих в реакции.

Система дифференциальных уравнений решается численным методом Рунге-Кутты 4-го порядка в программе SMath Studio с помощью функции `rkfixed`. Начальные концентрации веществ и правые части дифференциальных уравнений задаются в виде векторов-столбцов. Константы скоростей стадий реакции взяты из источника [3], временной интервал 20 секунд, количество шагов 300 (рисунок 3).

Константы скоростей:	Интервал времени:	Начальные концентрации:	Правые части системы
$k_1 := 0,5$	$t_0 := 0$	$v := \begin{bmatrix} 0,8 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$F(t; c) := \begin{bmatrix} -k_1 \cdot c_1 \\ k_1 \cdot c_1 - k_2 \cdot c_2 \\ k_2 \cdot c_2 - k_3 \cdot c_3 \\ k_3 \cdot c_3 - k_4 \cdot c_4 \\ k_4 \cdot c_4 \end{bmatrix}$
$k_2 := 0,4$	$t_k := 20$		
$k_3 := 0,8$	Число шагов		
$k_4 := 0,6$	$n := 300$		

Рис. 3. Начальные условия

Результат решения системы дифференциальных уравнений представлен в виде матрицы (рисунок 4), первый столбец которой содержит время, а столбцы со второго по шестой - концентрации компонентов реакции для каждого шага.

$$f := \text{rkfixed}(v; t_0; t_k; n; F(t; C))$$

$$f = \begin{bmatrix} 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,0667 & 0,7738 & 0,0259 & 0,0003 & 6,0787 \cdot 10^{-6} & 6,321 \cdot 10^{-8} \\ 0,1333 & 0,7484 & 0,0502 & 0,0013 & 4,6829 \cdot 10^{-5} & 9,5475 \cdot 10^{-7} \\ 0,2 & 0,7239 & 0,0731 & 0,0029 & 0,0002 & 4,6758 \cdot 10^{-6} \\ 19,8 & 4,014 \cdot 10^{-5} & 0,0013 & 0,0012 & 0,0039 & 0,7936 \\ 19,8667 & 3,8824 \cdot 10^{-5} & 0,0012 & 0,0012 & 0,0038 & 0,7938 \\ 19,9333 & 3,7551 \cdot 10^{-5} & 0,0012 & 0,0011 & 0,0037 & 0,7939 \\ 20 & 3,632 \cdot 10^{-5} & 0,0012 & 0,0011 & 0,0036 & 0,7941 \end{bmatrix}$$

Рис. 4. Решение системы ОДУ

Для построения графика кинетической кривой каждой стадии необходимо сформировать матрицы GR_i ($i=1...5$), состоящие из двух столбцов – в первом столбце время, во втором концентрация вещества соответствующей стадии. Для этого в цикле объединяются первый и соответствующий веществу столбец матрицы f (рисунок 5).

```
for i ∈ 1 .. (cols(f))
    GRi := augment(col(f; 1); col(f; i))
```

Рис. 5. Создание матриц GR_i для кинетических кривых

Графики кинетических кривых приведены на рисунке 6.

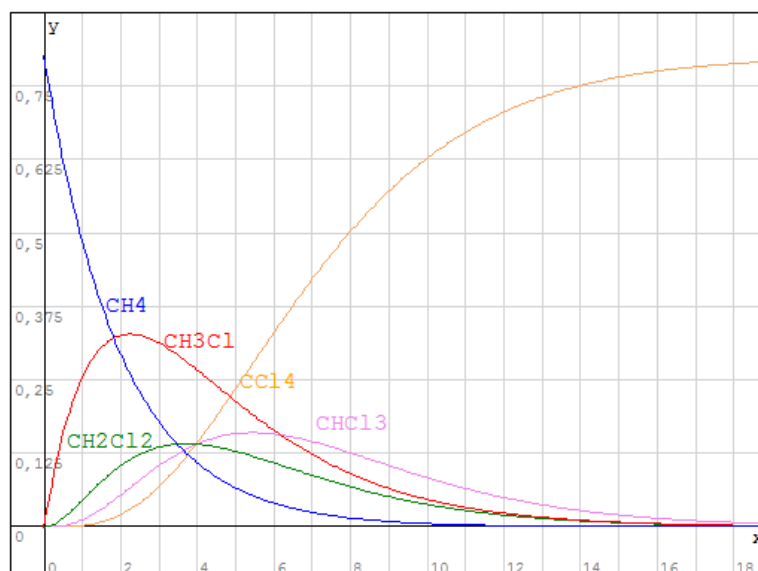


Рис. 6. Кинетические кривые

Для построения графиков формируется система уравнений (рисунок 7), структура которой аналогична структуре исходной системы дифференциальных уравнений, а переменные заменены соответствующими столбцами матрицы решений (рисунок 4).

$$\begin{aligned}dCH_4 &:= -k_1 \cdot col(f; 2) \\dCH_3Cl &:= k_1 \cdot col(f; 2) - k_2 \cdot col(f; 3) \\dCH_2Cl_2 &:= k_2 \cdot col(f; 3) - k_3 \cdot col(f; 4) \\dCHCl_3 &:= k_3 \cdot col(f; 4) - k_4 \cdot col(f; 5) \\dCCl_4 &:= k_4 \cdot col(f; 5)\end{aligned}$$

Рис. 7. Скорости изменения концентраций

На рисунке 8 приведены графики скоростей изменения концентраций компонентов реакции.

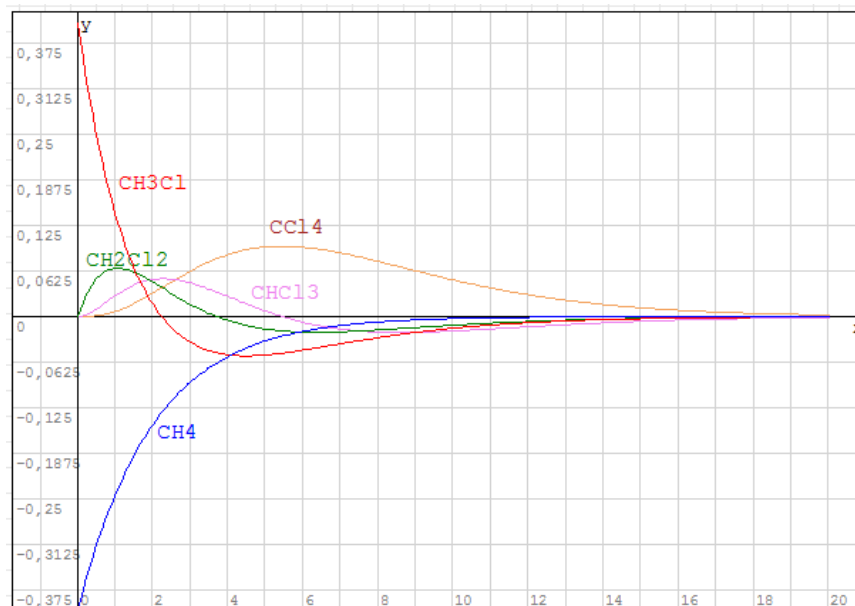


Рис. 8. Графики скорости изменения концентраций компонентов во времени

Предложенная модель позволяет проводить эффективные исследования кинетики последовательных реакций в SMATH Studio.

Библиографический список

1. В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, К.А. Ветшев, А.Д. Рубцова. Анализ кинетики химических реакций в программе SMATH Studio// 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. – 238 с.
2. В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, К.А. Ветшев, А.Д. Рубцова. Анализ кинетики совместного окисления водорода и угарного газа в программе SMATH Studio// НИТ-2018 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 2 т. Т.2./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2018; Рязань. – 528 с.
3. 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>.

УДК 66.081.2.069.82

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДВОДА ТЕПЛА К ФРАКЦИОНИРУЮЩЕМУ АБСОРБЕРУ НА УСТАНОВКЕ 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. Рассматривается автоматизация фракционирующего абсорбера на установке каталитического крекинга

Ключевые слова: абсорбционные процессы, абсорбционные аппараты, фракционирующий абсорбер

THE STUDY OF AVTOMATIZATSII OF HEAT TO THE ABSORBER FRACTIONATION 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. Discusses the automation of the fractionation absorber, the installation of catalytic cracking

Keywords: absorbing processes, absorbing devices, the fractioning absorber

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. В настоящей работе приведена характеристика процессов и аппаратов абсорбции углеводородных газов установки каталитического крекинга АО РНПК. [1,2,3,4]

В процессе каталитического крекинга при высоких температурах в псевдоожиженном 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. [5,6,7]

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 ($30-40^{\circ}\text{C}$) и высоком давлении ($10-15\text{ кгс/см}^2$). 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 $\sim 10-11\text{ кгс/см}^2$ 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. Тепло в абсорбер подается через два термосифонных рибойлера Т-5/1,2. Теплоносителем является II циркуляционное орошение выводимое с 11-ой тарелки главной ректификационной колонны (К-1) с расходом $450\text{ м}^3/\text{ч}$ при температуре около 250°C . С помощью насосов Н-17,18 основная часть потока подается в рибойлеры Т-5/1,2, малая часть потока подается через клапан регулятор расхода (поз. FIC 02312), который находится в автоматическом режиме с заданием $80\text{ м}^3/\text{ч}$, возвращается обратно в К-1 под 11 тарелку. Температура куба К-2 (поз. TIC 09143) выдерживается в районе 95°C в зимний период времени и 110°C в летний период. Корректировка температуры куба К-2 происходит с помощью регулирующих клапанов по температуре установленных перед каждым рибойлером (поз. TV-09159, TV-09160), клапана находятся в автоматическом режиме с заданием по температуре куба К-2 95°C , процент открытия клапанов составляет 25 %. В кубе К-2 поддерживается постоянный уровень 75% , для стабильной работы рибойлеров в которые поступает для нагрева $100\text{ м}^3/\text{ч}$ не стабильного бензина. С К-2 постоянным расходом $400\text{ м}^3/\text{ч}$ выводится бензин в К-4.

Для поддержания стабильного расхода II циркуляционного орошения часть его байпасирована мимо Т-5/1,2 при помощи байпасного клапана регулятора (FV02306), который так же находится в автоматическом режиме с заданием по расходу $300\text{ м}^3/\text{ч}$. Далее потоки объединяются и направляются в сырьевые теплообменники Т-25/1,2 с температурой $\sim 160-190^{\circ}\text{C}$ возвращается на 13-ую тарелку К-1.

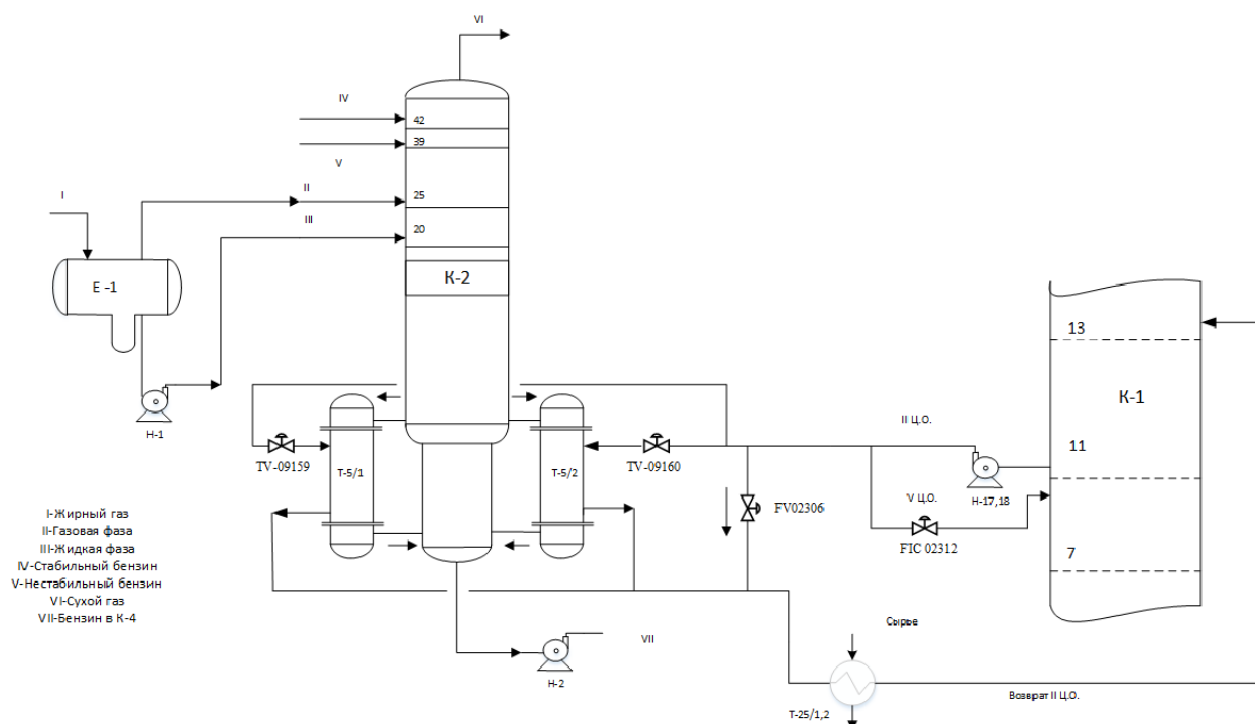


Рис. 1. Схема фракционирующего абсорбера

Фракционирующий абсорбер работает при температуре $T_{\text{раб.}}=50-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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. Термосифонный ребойлер абсорбера К-2, $P_{\text{раб.}}=11,5/9,2\text{ кгс/см}^2$, $T_{\text{раб.}}=115/230\text{ }^{\circ}\text{C}$, $F=504\text{ м}^2 \times 2$, материальное исполнение Кожух - 09Г2С-12, Трубки - ст.20.

Режим работы фракционирующего абсорбера:

	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, кгс/см^2
	<i>К-2</i>	<i>К-2</i>
Верх	35÷50	10,0
Середина	60÷75	-
Куб	95÷110	10,5

В заключении хочется отметить, что проведенный анализ работы абсорбционного аппарата позволил определить основные направления совершенствования процесса: 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 $120-340\text{ }^{\circ}\text{C}$ (нк- $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10% - $234\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50% - $279\text{ }^{\circ}\text{C}$, 90%- $317\text{ }^{\circ}\text{C}$, кк- $336\text{ }^{\circ}\text{C}$, выход 98);

Библиографический список

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник. – М.: Альянс, 2013. – 752с.
2. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1981. – 812 с.
3. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В., Зиновкина Т.В., Таран А.Л., Костанян А.Е. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник. – М.: Логос, Физматкнига, -2006с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.
5. Глаголева О.Ф., Капустин В.М. Технология переработки нефти Первичная переработка нефти Том(часть) 1: учебник. – М.: КолосС, Химия, 2007.–400 с.
6. Смидович, Е.В. Технология переработки нефти и газа. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов : учеб. - 4-е изд., стер. - М. : Альянс, 2011. - 328с.
7. Вержичинская С.В., Дигуров Н.Г., Синицин С.А. Химия и технология нефти и газа: учебное пособие. – М.: ФОРУМ, 2012. -400 с.
8. Агабеков В.Е., Косяков В.К. Нефть и газ: технологии и продукты переработки. - Ростов н/Дону.: Феникс, 2014. -458 с.
9. 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 66-7; ГРНТИ 61.51.01

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ
ЭФФЕКТА ЗЕЕБЕКА, ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

С.И. Михалев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, mikhaley_sergei@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается применение элементов Пельтье, как альтернативный источник энергии. Приводятся их основные особенности и достоинства, а также объясняется применение эффекта Зеебека.

Ключевые слова: элемент Пельтье, альтернативные источники энергии, эффект Зеебека, выработка электрической энергии.

**APPLICATION OF PELTIE ELEMENTS WHEN REALIZING
THE SEEBEC EFFECT, FOR TAKING UP ADDITIONAL
ELECTRIC ENERGY**

S.I. Mikhalev

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

The summary. The paper discusses the use of Peltier elements as an alternative source of energy. The main features and advantages are given, and the use of the Seebeck effect is explained.

Keywords: Peltier element, alternative energy sources, Seebeck effect, electrical energy generation.

Один из важнейших вопросов любой промышленности это – как сэкономить? Будь то закупка оборудования, производство или другие факторы. В них так же входит затраты на электроэнергию, из-за чего современные предприятия прибегают к использованию альтернативных источников энергии.

Что в первую очередь, после этой фразы, приходит в голову? Конечно же солнечные батареи. Для рентабельного использования, необходимы следующие условия:

- если брать летний период, считается, что панель отдает свою номинальную мощность 6 часов в день. Необходимо как можно больше солнечных дней в году;

- размещение под определенным углом, который должен меняться в течении дня;
- размещение на определенном расстоянии друг от друга, что бы избежать затенения солнечных модулей;

- в зимний период необходима очистка от снега, в летний от пыли и грязи;

Но многие предприятия не обладают достаточным местом, географическим расположением, что выражается в солнечных днях в году и погодных условиях.

Второе по популярности альтернативный источник, это ветряки. Но у них есть значительные минусы, если рассматривать их в качестве установки на предприятии, это:

- дороговизна изготовления, транспортировки и установки;
- большая площадь для расположения;
- средняя скорость ветра в регионе, для нормальной скорости вращения лопастей.

С учетом всех сказанных факторов, необходимых для этих двух вариантов, предлагается использовать Элементы Пельтье в качестве альтернативного источника, которые помогут избежать:

- зависимости от дня и ночи;
- расположении в определенном направлении;
- площади расположения;
- чистки от грязи и снега;

Эти элементы уже широко распространены, они используются во всех отраслях, от внедрения в спутники, до применения в автомобилях.

Электроэнергию, которую вырабатывает элемент, предлагается использовать для освещения аппаратов.

Что собой представляет Элемент Пельтье? Это две кармические пластины, между которыми расположены металлические контакты и термоэлектрические элементы р и n типа, показано на рисунке 1.

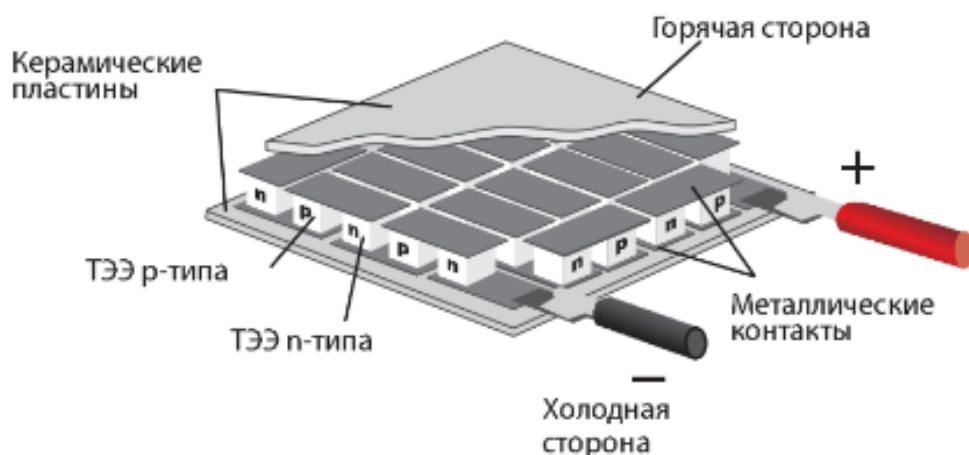


Рис. 1. Элемент Пельтье

Как же использовать элемент в качестве альтернативного источника электроэнергии? Это возможно благодаря эффекту Зеебека, который заключается в возникновении термо-ЭДС при нагреве контакта двух разнородных полупроводников. Если использовать их на нефтеперерабатывающем предприятии, то к одной стороне элемента тепло подводится, а другая сторона элемента охлаждается, что провоцирует выделение электрического тока.

Размещать элементы предлагается на стенках технологических печей, что позволит обеспечить:

- перепад температуры в 70 – 90 С, необходимый для работы элемента;
- достаточное количество места для размещения;
- удачное место расположения (печи стоят на открытом месте, обдуваемые ветром);

Размещать элементы следует на нижней части стенки, на высоте не выше 0,5 м от пламени, выше температура стенки может снижаться на несколько градусов, как показано на рисунке 2.

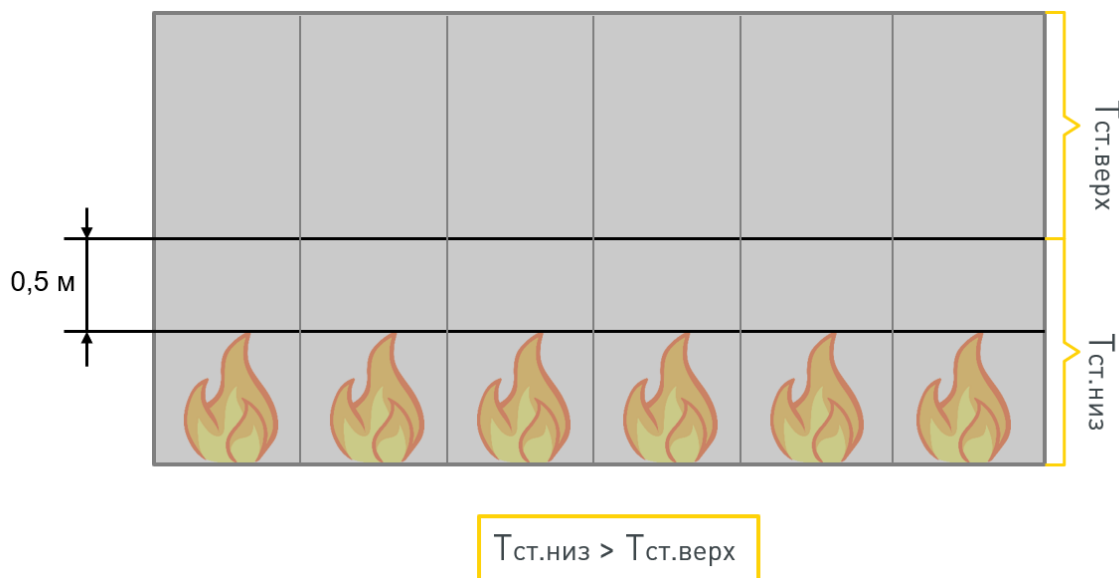


Рис. 2. Место размещения элементов на стенке технологической печи

Температура стенки печи в среднем составляет 90-100 градусов Цельсия, средняя температура в летний период в Рязани 19-27 градусов Цельсия, в зимний от – 15 до – 8. Тепловой поток от стенки печи нагревает одну сторону элемента, другая сторона охлаждается атмосферой. Возникает перепад температур, в следствии выделяется электрический ток.

Стенка печи разделена ребрами жесткости на ячейки, в которые будут устанавливаться каскады из 100 элементов. Так же отпадает необходимость в термо-покрытии стенки печи, что приводит к небольшой экономии. В итоге получается около 1200 элементов на одну сторону, соответственно 2400 элементов на одну печь.

Если один элемент вырабатывает мощность 7,3 Вт, то каскад последовательно соединенных элементов (2400) будет вырабатывать 17,52 кВт мощности. Этой мощности будет вполне достаточно для светодиодного освещения аппаратов

Использование светодиодов обусловлено тем, что они потребляют меньше всего энергии, не проигрывая в качестве освещения лампам накаливания.

Необходимое оборудование для работы цепи, показано на рисунке 3.

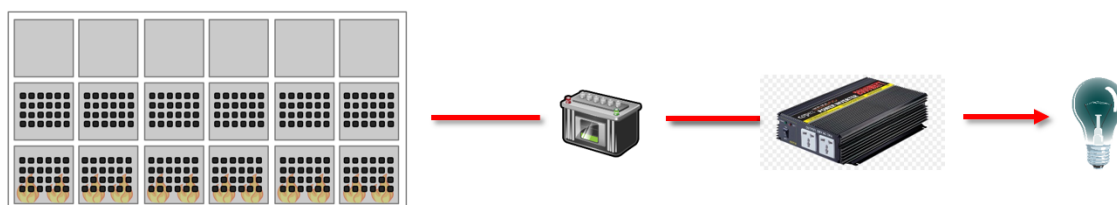


Рис. 3. Необходимое оборудование для работы цепи: элементы Пельтье, соединительный кабель, аккумуляторная батарея, инвертор, LED лампа

В среднем стоимость оснащения одной печи составить 3,5 – 4,5 млн рублей.

Вывод

Использование такого метода получения электроэнергии на масштабных нефтеперерабатывающих заводах позволит вырабатывать определенный процент электрической энергии, который будет использоваться вместо стандартного освещения аппаратов, освещением светодиодами, это позволит экономить на закупку электроэнергии. Использование альтернативных источников энергии и реализация таких проектов повышает общий статус компании в обществе, что является положительным моментом для компаний.

УДК 543.544.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОПАН-БУТАНОВЫХ СМЕСЕЙ

А.Д. Прощина*, Г.И. Мельник**

* Рязанский государственный радиотехнический университет,
АО "Рязанская нефтеперерабатывающая компания" (АО "РНПК")

Российская Федерация, Рязань, dmitry.proshin@yandex.ru,

**Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,
Российская Федерация, Рязань, galame@yandex.ru

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты анализов пропан-бутановых смесей, получаемых на газофракционирующей установке АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания». Методом газовой хроматографии исследованы смеси на различных стадиях очистки.

Ключевые слова: пропан-бутановая смесь, газовая хроматография, сжиженный газ, углеводородный состав.

APPLICATION OF THE METHOD OF GAS CHROMATOGRAPHY FOR ANALYSIS OF PROPANE-BUTANE MIXTURES

A.D. Proshchina*, G.I. Melnik**

* Ryazan State Radio Engineering University,
JSC "Ryazan Oil Refining Company" (JSC "RNPK")

Russia, Ryazan, dmitry.proshin@yandex.ru.,

** Moscow Polytechnic University, Ryazan Institute (branch),
Russia, Ryazan, galame@yandex.ru

Abstract. This paper presents the results of analyzes of propane-butane mixtures obtained at the gas fractionation unit of Ryazan Oil Refining Company. Mixtures at various stages of purification were investigated by gas chromatography.

Keywords: propane-butane mixture, gas chromatography, liquefied gas, hydrocarbon composition.

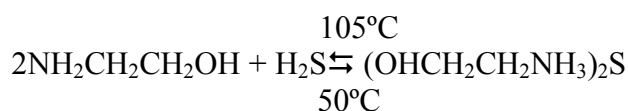
Одним из основных направлений развития экономики России является нефтегазовый комплекс. Качеству продукции нефтепереработки уделяется большое внимание. Газовая хроматография – это один из распространенных методов физико-химических исследований, используемый при контроле нефтепродуктов. Газохроматографическими методами анализируются компонентный и фракционный состав нефтепродуктов, природного и сжиженного газа, анализируются содержание сероводорода и хлорорганических соединений и многое другое.

Сущность хроматографии состоит в разделении компонентов между двумя фазами: подвижной и неподвижной [1]. Жидкость или газ в качестве подвижной фазы протекают под давлением через слой сорбента или пленку жидкости, то есть неподвижную фазу. В газовой хроматографии (ГХ) подвижной фазой является газ.

В настоящей работе приведены результаты анализов пропан-бутановых смесей, получаемых на газофракционирующей установке (ГФУ) АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания». Смесь углеводородных газов, образующихся в процессе переработки нефти, содержит углеводороды состава C2-C5 и сероводород. Данная смесь в качестве сырья поступает на ГФУ, где в процессе ректификации и очистки получают товарный продукт – сжиженный пропан-бутан технический (СПБТ), качество которого исследуется в соответствии с ГОСТ 33012-2014 [2]. Пропан-бутановая смесь применяется как сырье в химической промышленности, используется для бытового газоснабжения, применяется в качестве моторного топлива, в качестве топлива в промышленности и сельском хозяйстве.

В основе газоразделения лежит процесс ректификации, то есть процесс разделения углеводородной смеси путем многократного испарения легких и многократной конденсации тяжелых компонентов. В ректификационной колонне происходит многократное, качественное непрерывное изменение потоков. Паровой поток, поднимаясь вверх по колонне, непрерывно облегчается вследствие конденсации тяжелых компонентов и перехода их в жидкую фазу. Жидкость, стекающая вниз, утяжеляется вследствие отпарки легких компонентов и перехода их в паровую фазу. Многократное испарение легких и конденсация тяжелых углеводородных компонентов в колонне достигается благодаря разности температур, теплообмену и массообмену между паровой и жидкой фазами, встречающимися на тарелках колонны. Четкость процессов разделения углеводородной смеси на компоненты зависят от количества тарелок, температурного режима, кратности орошения, давления.

Целью очистки газа чаще всего является удаление сернистых соединений, представленных в нефтяном газе в виде сероводорода (H_2S), который обладает корродирующими и токсическими свойствами. Наиболее широко применяется абсорбционная этаноламиновая очистка, которая заключается в том, что при температуре до 50 °C образуется неустойчивое химическое соединение моноэтаноламина (МЭА) с сероводородом, при температуре выше 100°C протекает обратная реакция с выделением сероводорода:



Рассмотрим технологическую схему процессов, происходящих на первой секции ГФУ и блоке очистки пропан-бутановой фракции, изображенную на рисунке 1.

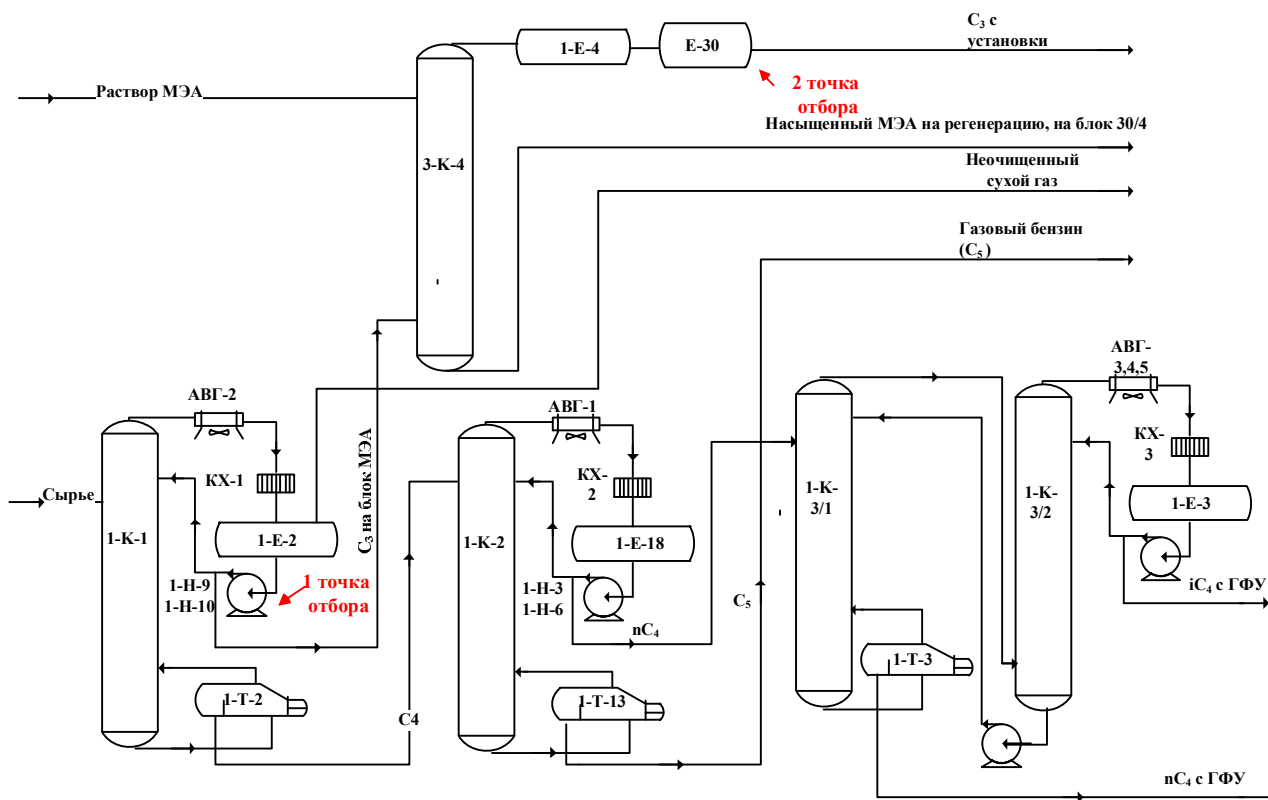


Рис. 1. Схема первой секции ГФУ и блока очистки пропан-бутановой фракции

Газообразное сырье поступает на сырьевые насосы, затем направляется в пропановую колонну 1-К-1. Пары с верха через холодильник-конденсатор воздушного охлаждения АВГ-2 поступают в пластинчатый холодильник водяного охлаждения КХ-1 и далее направляются в рефлюксную емкость 1-Е-2. Из емкости 1-Е-2 пропан-бутановая фракция насосами 1-Н-9, 10 подается на орошение 1-К-1, а балансовое количество поступает на блок очистки пропан-бутановой фракции от сероводорода раствором моноэтаноламина (МЭА). С низа пропановой колонны 1-К-1 остаток (бутан-пентановая фракция) проходит теплообменник 1-Т-2, где подогревается сырье, и поступает в бутановую колонну 1-К-2 в зону ввода сырья. Пары ректификации (сумма бутанов) с верха колонны 1-К-2 проходят через конденсаторы воздушного охлаждения АВГ-1 и пластинчатый холодильник водяного охлаждения КХ-2, охлаждаются и поступают в рефлюксную емкость 1-Е-18. Остаток (фракция бензина газового) с ребойлера 1-Т-13 проходит теплообменник 1-Т-6, холодильники Т-15, 16 и откачивается с установки. Сумма бутанов из емкости 1-Е-18 поступает в колонну 1-К-3/1. Пары с верха колонны 1-К-3/1 поступают под первую тарелку колонны 1-К-3/2, а флегма с низа колонны 1-К-3/2 насосом 1-Н-7, 8 подается на орошение колонны 1-К-3/1.

Пары изобутановой фракции с верха колонны 1-К-3/2 проходят конденсаторы-холодильники воздушного охлаждения АВГ-3, 4, 5, пластинчатый холодильник КХ-3 и поступают в рефлюксную емкость 1-Е-3, с которой насосом 1-Н-4, 5 изобутановая фракция подается на орошение в колонну 1-К-3/2, а избыток откачивается с установки. Для очистки от сернистых соединений (при необходимости) изобутановая фракция поступает в емкость защелачивания 1-Е-4, где она очищается за счет раствора едкого натра и далее откачивается с установки.

Очистка получаемой на установке пропан-бутановой фракции от сероводорода раствором МЭА производится в абсорбере 3-К-4. Сжиженная пропан-бутановая фракция с первой и третьей секции поступает через узел ввода под нижнюю тарелку колонны 3-К-4. На распределительную тарелку в верхней части колонны подается регенерированный раствор

МЭА. Для защиты от замерзания предусмотрен наружный змеевик, обогреваемый промтеплофикационной водой.

Стекая вниз противотоком, МЭА поглощает сероводород, уменьшая его содержание в сжиженном газе, поднимающимся вверх по колонне. Очищенная от сероводорода пропан-бутановая фракция с верха колонны 3-К-4 проходит емкости зашелачивания 1-Е-4, 3-Е-4, отстойник Е-30 и поступает в буллитный парк цеха №11. Насыщенный раствор МЭА выводится на регенерацию в десорбер блока сероочистки.

Для анализа пропан-бутановой смеси были отобраны пробы с установки ГФУ с двух разных точек отбора. Места отбора анализируемой смеси показаны на рисунке 1. Первая из них – точка отбора на насосе 1-Н-9. Второе место отбора - из емкости Е-30.

Газ с точки отбора 1-Н-9 был проанализирован на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.2.

Чтобы идентифицировать соединения сероводорода использовалась гексадекановая колонка и детектор по теплопроводности. В результате проведения анализа по полученной хроматограмме, изображенной на рисунке 3, был определен качественный и количественный состав смеси.

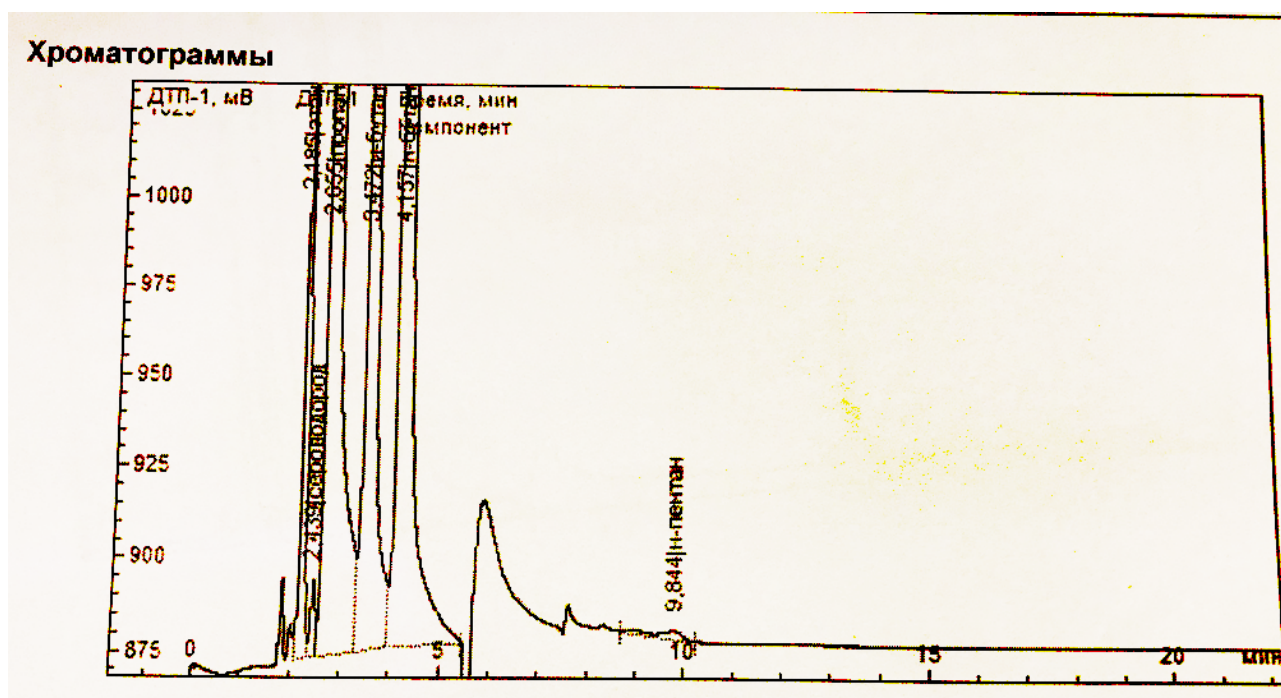


Рис. 2. Хроматограмма пропан-бутановой смеси из рефлюксной емкости 1-Е-2, полученная на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.2

Результаты анализа хроматограммы представлены в таблице 1, в которой указаны компоненты, из которых состоит данная смесь, и их концентрация.

Таблица 1. Показатели анализа пропан-бутановой смеси из рефлюксной емкости 1-Е-2

Время, мин	Компонент	Площадь	Высота	Концентрация	Единица концентрации	Детектор
2,185	Этан	1361,391	273,411	2,15	%масс	ДТП-1
2,439	Сероводород	129,072	20,287	0,31	%масс	ДТП-1
2,655	Пропан	27324,863	4379,686	49,60	%масс	ДТП-1

3,472	И-Бутан	10310,617	1288,799	19,46	%масс	ДТП-1
4,157	Н-бутан	15593,383	1595,665	28,30	%масс	ДТП-1
9,844	Трансбутен-2	95,390	2,307	0,18	%масс	ДТП-1

Пропан-бутановая смесь после блока очистки МЭА, отобранная из емкости Е-30, анализировалась с помощью хроматографа Хроматэк-Кристалл 5000.1. Данный анализ проведен по ГОСТ 10679-76[3], который распространяется на сжиженные углеводородные газы и устанавливает метод определения их углеводородного состава (фракции С3 и С4 и их смеси), находящихся под избыточным давлением собственных паров, массовая доля которых 0,01 % и выше.

Анализ сжиженного газа, при содержании в анализируемой смеси малых концентраций изобутилена проводился на колонке с трепелом, модифицированным вазелиновым маслом и дибутилфталатом. Полученная хроматограмма приведена на рисунке 3.

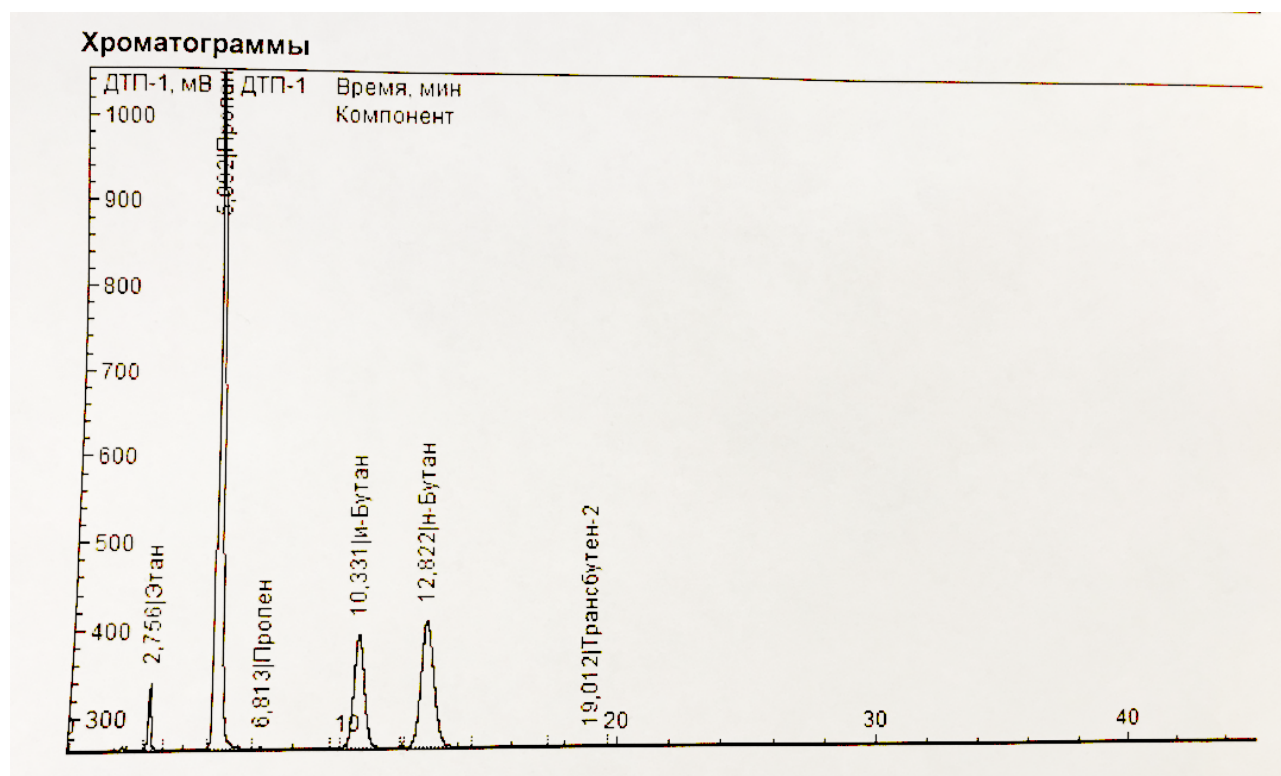


Рис. 3. Хроматограмма пропан-бутановой смеси после блока очистки МЭА, полученная на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.1

Результатом анализа хроматограммы является таблица 2, в которой указаны компоненты, из которых состоит данная смесь и их концентрация.

Таблица 2. Показатели анализа пропан-бутановой смеси после блока очистки МЭА

Время, мин	компонент	площадь	Высота	концентрация	Единица концентрации	Детектор
2,756	Этан	496,912	75,161	2,57	%масс	ДТП-1
5,092	Пропан	10640,856	787,881	55,14	%масс	ДТП-1
6,813	Пропен	25,829	0,886	0,13	%масс	ДТП-1

10,331	И-Бутан	3370,904	128,769	17,47	%масс	ДТП-1
12,822	Н-бутан	4760,348	144,452	24,67	%масс	ДТП-1
19,012	Трансбутен-2	2,972	0,052	0,02	%масс	ДТП-1

С помощью газохроматографического анализа можно определить концентрацию серосодержащих компонентов в диапазоне 0,1-100 ppm. Этот метод позволяет быстро и с высокой надежностью идентифицировать серосодержащие соединения. Поскольку на хроматограмме (рис. 3) и в показателях анализа, отраженных в Таблице 2 сероводорода не обнаружено, то по результатам работы можно сделать вывод, что пропан-бутановая смесь после блока очистки МЭА отобранная из емкости Е-30, имеет существенно меньшее содержание сероводорода, чем до очистки.

Библиографический список

1. Гишон, Ж., Гийемен К. Количественная газовая хроматография / Ж. Гишон, К. Гийемен //ч.1, М.: Мир.-1991.-291 с.
2. ГОСТ 33012-2014 (ISO 7941:1988). ПРОПАН И БУТАН ТОВАРНЫЕ. Определение углеводородного состава методом газовой хроматографии [Текст]. – Введ. 2016–01–01. – М. : Стандартинформ, 2016. –36 с.
3. ГОСТ 10679-76 Газы углеводородные сжиженные. Метод определения углеводородного состава. [Текст]. – Введ. 1977–01–01. – М. : 1985. –9 с.

УДК 66-9

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ТЕПЛООБМЕНА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ БЛОКОВ ЭЛОУ УСТАНОВОК АВТ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Т.В. Редичева*, М.Э. Керимова**, В.В. Коваленко***, М.В. Лызлова****

* Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, pivikova.tanya@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 исследованию схем теплообмена технологических потоков блоков ЭЛОУ, имеющих одинаковые по конструкции электродегидраторы, но различную производительность установок АВТ

Ключевые слова: теплообменный блок, электродегидраторы.

A STUDY OF SCHEMES OF HEAT TRANSFER PROCESS STREAMS UNITS ELOU AVT PLANTS OF VARIOUS CAPACITIES

T.V. Redicheva*, M. E. Karimov**, V.V. Kovalenko ***, M.V. Lyzlova****

* 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

Annotation. The article is devoted to the study of heat exchange schemes of technological flows of ELOU blocks having the same design of electric dehydrators, but different performance of the AVT units

Keywords: heat Exchange unit, electric dehydrators.

В настоящее время оптимизация схем энергопотребления, особенно на энергоемких установках первичной переработки нефти, направлена на усовершенствование отдельных стадий производства, поиск новых технологических решений при их реализации, использование рационального объединения источников энергии внутри технологической схемы.

Целью работы является исследование схем теплообмена технологических потоков блоков ЭЛОУ (электрообессоливающая установка), имеющих одинаковые по конструкции электродегидраторы, но различную производительность установок АВТ. Как известно, основным назначением установок первичной перегонки нефти является получение различных фракций (бензиновой, керосиновой, дизельной, масляных фракций или вакуумного газойля, гудрона), стабильность в составе которых во многом зависит от подготовки нефти к фракционированию на блоке ЭЛОУ. Обезвоживание нефти на блоке ЭЛОУ заключается в разрушении эмульсии и последующем отделении нефти от воды. При этом удаляется основная масса солей, растворенных в эмульсионной воде. Обезвоживание и обессоливание нефти при помощи электрического поля осуществляют под давлением в электродегидраторах, снабженных электродами, к которым подводится высокое напряжение переменного тока. Наиболее эффективное разрушение водонефтяной эмульсии под действием деэмульгаторов и электрического поля протекает при снижении вязкости и плотности нефти за счет повышения температуры, но не выше предельной величины, определяемой свойствами нефти и конструкцией электродегидраторов [1,2].

В настоящей работе рассматриваются схемы теплообмена блоков ЭЛОУ АВТ-1 и АВТ-4. Для обессоливания и обезвоживания нефти на этих установках применяются шаровые электродегидраторы, характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1. Технические параметры электродегидраторов ЭЛОУ АВТ-1 и ЭЛОУ АВТ-4

Параметр	Шаровой электродегидратор	
	ЭЛОУ-АВТ-1	ЭЛОУ-АВТ-4
Объем, м ³	607	600
Внутренний диаметр, м	10500	10400
Толщина стенки корпуса, мм	24	24
Расчетное давление, кгс/см ²	6,8	6
Расчетная температура, °С	100	110

Нагрев нефти до электродегидраторов проводится в теплообменных аппаратах. Причем, если на блоке ЭЛОУ АВТ-1 (расчетная температура 100 °С) нагрев осуществляется в сырьевых теплообменниках за счет тепла обессоленной и обезвоженной нефти и в паровых подогревателях, то на блоке ЭЛОУ АВТ-4 (расчетная температура 110 °С) температура, необходимая для обессоливания и обезвоживания нефти, достигается за счет охлаждения потоков, образующихся в процессе перегонки нефти. Схемы нагрева сырой нефти приведены на рисунках 1 и 2. Характеристика теплообменных аппаратов приведена в таблице 2.

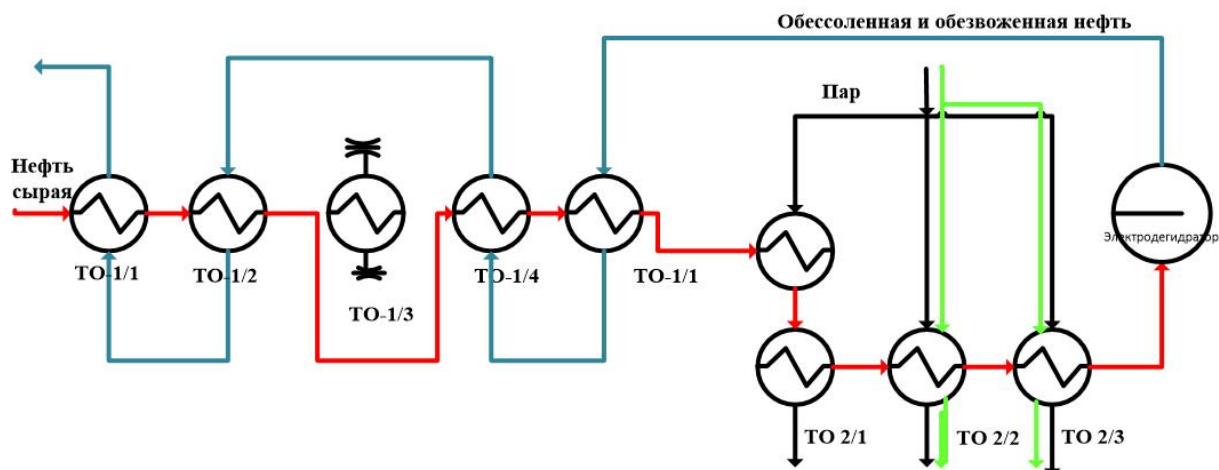


Рис. 1. Схема теплообменного блока установки ЭЛОУ АВТ-1

Таблица 2. Технические параметры теплообменных аппаратов ЭЛОУ АВТ-1

Наименование теплообменника	F,м ²	Трубное пространство		Межтрубное пространство		
		T,°C	P,кгс/см ²	T,°C	P,кгс/см ²	поток
ЭЛОУ АВТ-1						
T-1/1(э)	450x2	25	15	45	4	Нефть обессоленная
T-1/2(э)	450x2	100	16	100	4	Нефть обессоленная
T-1/4(э)	450x2	100	16	100	4	Нефть обессоленная
T-1/5(э)	450x2	100	16	100	4	Нефть обессоленная
T-2/1(э)	400	80	10	133	3	Пар
T-2/2(э)	400	180	6	133	3	Пар
T-2/3(э)	400	180	3	133	3	Пар

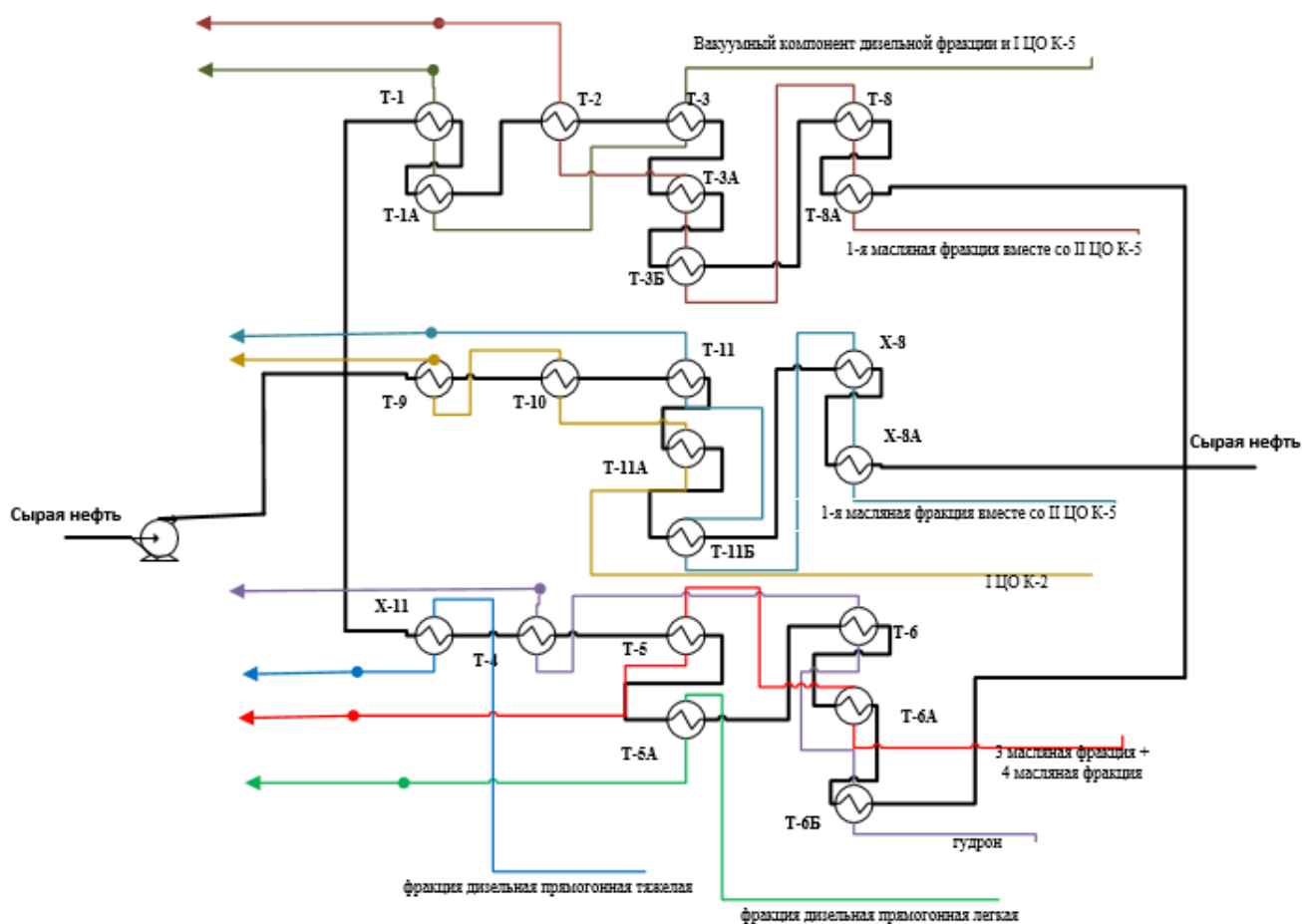


Рис. 2. Схема теплообменного блока установки ЭЛОУ АВТ-4

При анализе работы сырьевых теплообменников установок АВТ различной производительности было выяснено, что поток холодной сырой нефти в обоих случаях проходит по трубному пространству теплообменных аппаратов. На установке большей производительности реализована схема рекуперации вторичных энергоресурсов. Разделение потока сырой нефти (три потока) позволяет более рационально использовать энергию отходящих потоков, но при этом увеличивается количество задействованных теплообменных аппаратов.

На установке меньшей производительности нагрев осуществляется одним потоком в последовательно соединенных теплообменниках, и тремя потоками в паровых теплообменных аппаратах. Поверочные расчеты показали, что можно заменить поток пара на имеющий запас тепла гудрон, что позволит увеличить температуру нагрева сырой нефти перед электродегидратором в Т- 2/2-3 (зеленый контур на схеме) до 112 °С, используя для нагрева потока два теплообменных аппарата Т2/2-3 вместо трех. Предложенная модернизация повысит энергоэффективность установки за счет максимального использования тепла отходящих потоков и сокращения потребления пара.

Библиографический список

1. Капустин В.М. Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти. - М.: КолосС, 2012. - 456с.
2. Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Процессы и аппараты химической технологии. В 5-ти частях. Часть 1. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 226с.

УДК 544.654.2; ГРНТИ 31.15.33

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БИНАРНОГО СПЛАВА Co-Mo

Г.П. Гололобов, Д.В. Суворов, М.А. Серпова, С.А. Авраменко

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, kmaria023@yandex.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния условий электрохимического синтеза на структурно-морфологические характеристики покрытий на основе бинарного сплава Co-Mo.

Ключевые слова: покрытие, электрохимический синтез, анодирование, бинарный сплав, цитратно-пирофосфатный электролит, структурно-морфологические характеристики.

FEATURES OF ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF COATINGS BASED ON A BINARY ALLOY CO-MO

G.P. Gololobov, D.V. Suvorov, M.A. Serpova, S.A. Avramenko

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, kmaria023@yandex.ru

The summary. The paper presents the results of the study of the influence of the conditions of electrochemical synthesis on the structural and morphological characteristics of coatings based on the binary alloy Co-Mo.

Keywords: coating, electrochemical synthesis, anodizing, binary alloy, citrate-pyrophosphate electrolyte, structural and morphological characteristics.

Гальванотехника получила широкое распространение в промышленности. Гальванические покрытия используются для придания поверхности разнообразных изделий определенных свойств. Они нашли широкое применение в различных областях техники, но особое место электролитические покрытия занимают в электронике. В основном используются хромированные покрытия, обладающие такими особенностями, как коррозионная стойкость, износостойкость, высокая твердость, низкий коэффициент трения, а также внешний вид. В то же время они имеют существенные недостатки: низкий выход по току, малая покрывающая способность. Несмотря на многие полезные свойства и небольшие затраты, электролит, используемый для осаждения, содержит токсичные шестивалентные ионы хрома. В связи с этим были предприняты попытки нахождения альтернативы этому покрытию. В качестве альтернативы вводятся покрытия на кобальтовой основе, легированные тугоплавкими металлами (вольфрам и молибден) [1]. Известно, что покрытия на основе сплава Co-W обладают низким коэффициентом трения и лучшей износостойкостью, чем покрытия из хрома и чистого кобальта.

Основной набор электролитов и растворов для электрохимического синтеза можно считать сложившимся, однако на данный момент ведутся работы по радикальному изменению в области создания условий электрохимического осаждения, которые бы смогли вызвать резкий скачок в развитии гальванотехники.

Методы и условия получения экспериментальных образцов

В данной работе электрохимический синтез сплава кобальт-молибден проводили с использованием трех типов электролита (наиболее популярных в настоящее время): цитратно-пирофосфатного, цитратного на основе Na_3Cit и цитратного с добавлением этилендиаминтетрауксусной кислоты. Составы электролитов следующие: цитратно-пирофосфатный (15,5 г/л CoSO_4 , 2,06 г/л Na_2MoO_4 , 51,6 г/л $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$, 66 г/л $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$, 7,1 г/л Na_2SO_4), цитратный на основе Na_3Cit (46,5 г/л CoSO_4 , 51,6 г/л $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$, 2,06 г/л Na_2MoO_4), цитратный с добавлением этилендиаминтетрауксусной кислоты (100 г/л CoSO_4 , 20 г/л Na_2MoO_4 , 35 г/л $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$, 35 г/л Na_2EDTA).

Образцы покрытий осаждали на пластины из бескислородной меди. Перед каждым экспериментом подложки полировали алмазной пастой НОМ 0,5/0 до появления зеркального блеска поверхности. После полировки производили обезжиривание и снятие окислов с медной поверхности с помощью раствора щелочи (30 г/л Na_2CO_3 , 30 г/л NaOH) и 15% раствора соляной кислоты HCl . На заключительной стадии подложки промывали дистиллированной водой.

Влияние условий синтеза на структурно-морфологические характеристики покрытия Со-Мо

На первом этапе была проведена серия экспериментов по получению покрытий на основе бинарного сплава Со-Мо в цитратно-пирофосфатном электролите при гальваностатическом режиме с различными вариантами длительности процесса осаждения покрытия. Катодная плотность тока во всех случаях составляла 1 А/дм^2 . Время осаждения менялось от 10 до 90 минут. С использованием сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV, была получена серия образцов, время осаждения для которых составляло 10, 30, 60 и 90 минут. Типичные СЭМ-изображения поверхности полученных образцов представлены на рисунке 1.

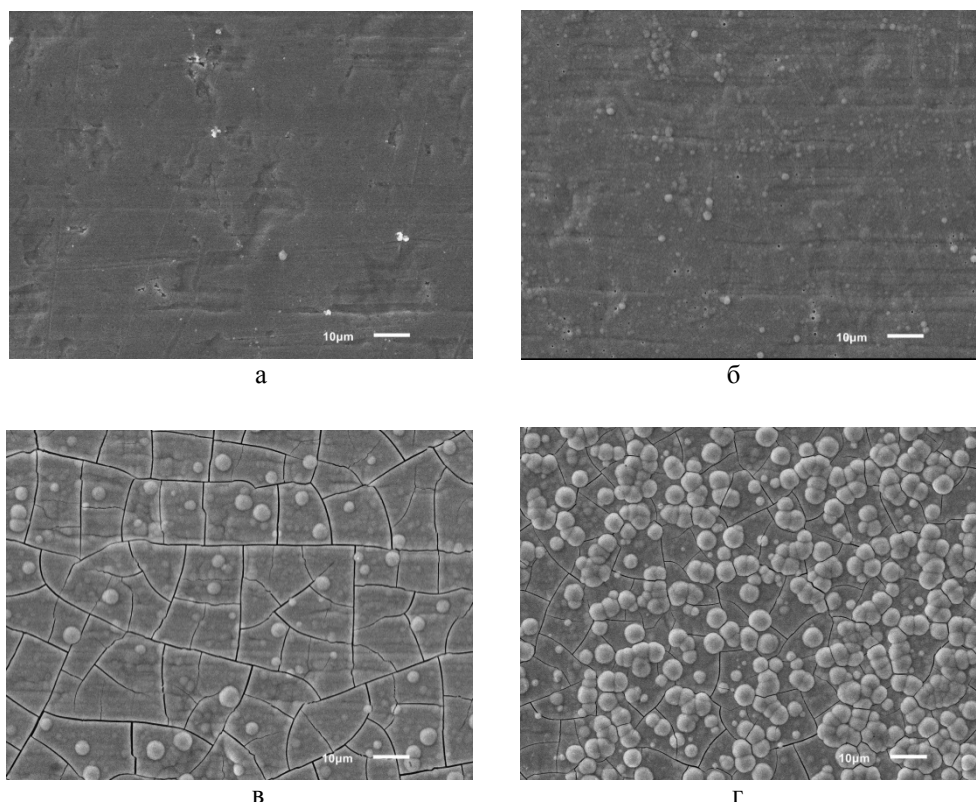


Рис. 1. СЭМ-изображения поверхности образцов покрытия сплава Со-Мо, полученных при различной длительности процесса осаждения:
а – 10 минут; б – 30 минут; в – 60 минут; г – 90 минут

Измерение толщины покрытия полученных образцов позволяют сделать вывод о сравнительно низкой производительности процесса (скорости осаждения) при использовании данным электролита. Так, например, за 10 минут процесса осаждения сформировались пленки толщиной всего $0,2 - 0,25 \text{ мкм}$ (по данным полученным гравиметрическим методом). Как видно из СЭМ-изображения поверхности (рисунок 1 а), покрытие не является сплошным.

Сплошная пленка толщиной 0,4–0,5 мкм, в рассматриваемых условиях начинает формироваться после 30 минут осаждения (рисунок 1 б). Стоит отметить, что уже при минимальной толщине сплошного покрытия начинается образование трещин. Дальнейшее увеличение времени осаждения и соответственно толщины покрытия до 3,5 мкм приводит к еще большему растрескиванию (рисунок 1 в, г).

Морфологический тип поверхности покрытия по достижении толщины 1,5 – 2 мкм приобретает ярко выраженную глобулярную структуру (размер глобул 5-30 мкм). Размеры глобул увеличиваются на всем периоде роста покрытия.

На втором этапе работы был проведен ряд экспериментов по получению покрытий на основе бинарного сплава Со-Мо в цитратном электролите на основе Na_3Cit в гальваностатическом режиме с различными вариантами длительности процесса осаждения. Время электрохимического синтеза изменялось от 10 до 60 минут, катодная плотность тока от $0,25 \text{ А/дм}^2$ до 1 А/дм^2 . Было получено две серии образцов при плотности тока $0,25 \text{ А/дм}^2$ и $0,5 \text{ А/дм}^2$, время осаждения для которых составляло 10, 20, 40 и 60 минут.

Типичные СЭМ-изображения поверхности образцов полученных при токе $0,25 \text{ А/дм}^2$ представлены на рисунке 2.

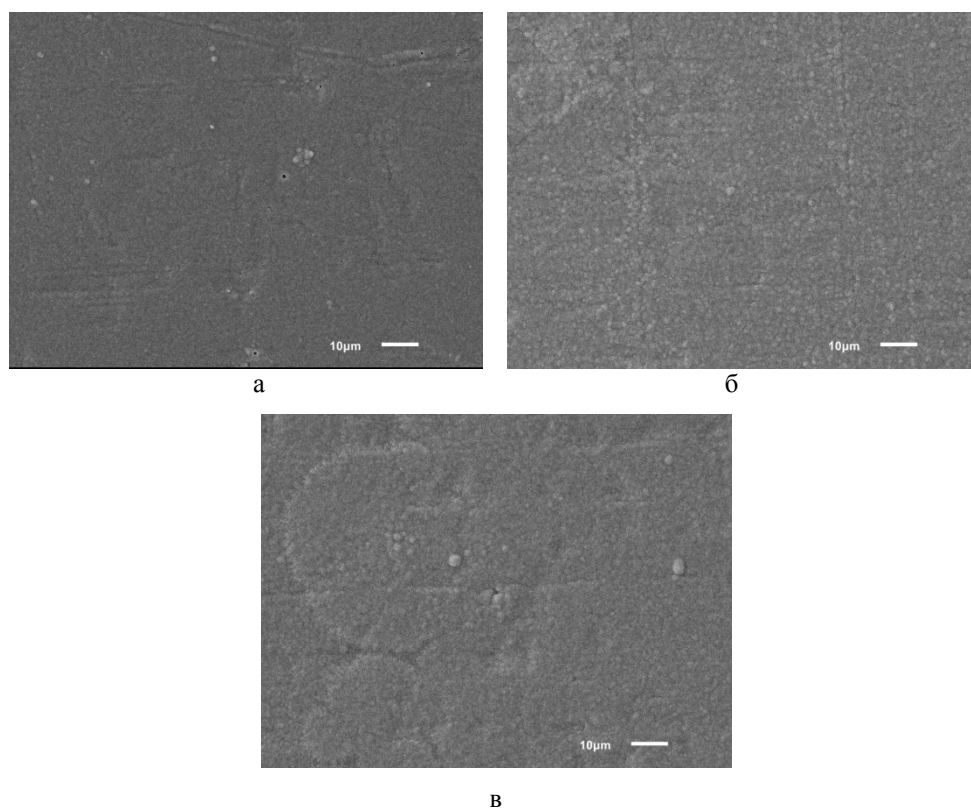


Рис. 2. СЭМ-изображения поверхности образцов покрытия сплава Со-Мо, полученных при различной длительности процесса осаждения:
а – 10 минут; б – 20 минут; в – 40. Катодная плотность тока $0,25 \text{ А/дм}^2$

Сплошная пленка толщиной 0,5 мкм в данном случае начинает формироваться за первые 10 минут осаждения (рисунок 2 а). Устойчивый морфологический тип структуры поверхностного рельефа формируется спустя 20 минут электрохимического синтеза. Эксперименты показали, что дальнейшее увеличение времени осаждения до 120 минут и соответственно толщины осаждаемого покрытия до 5,5 мкм также не приводит к появлению трещин. Представленные на рисунке 2 СЭМ-изображения свидетельствуют об однородности структуры и отсутствии трещин в покрытии.

Анализ поверхности образцов, полученной при увеличении плотности тока до $0,5 \text{ А/дм}^2$ не приводит к каким либо изменениям в структуре поверхностного рельефа, однако способствует трещинообразованию уже при толщине $1,5 - 1,7 \text{ мкм}$. Увеличение катодной плотности тока с $0,5 \text{ А/дм}^2$ до 1 А/дм^2 не приводит к существенным изменениям в структуре поверхностного рельефа и не влияет на скорость роста покрытия. Также установлено, что в рассматриваемых условиях, использование токов превышающих указанное значение приводит к образованию дефектов покрытия представляющих собой «несплошности» или непокрытые места даже при толщинах в несколько микрометров. Однако, увеличение плотности тока до $1,25 \text{ А/дм}^2$ и более приводит к существенному изменению структуры поверхностного рельефа (рисунок 3). Покрытие представляет собой нанокристаллическую структуру. Составляющие покрытие, схожие по размерам кристаллиты пластинчатой формы имеют толщину в несколько десятков нанометров и протяженность не более микрометра.

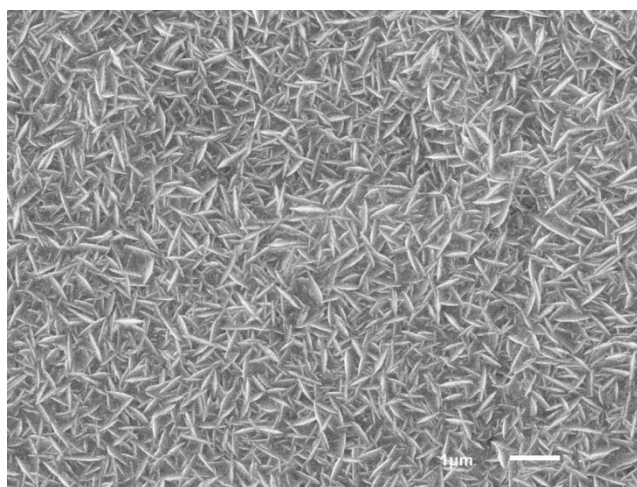


Рис. 3. СЭМ-изображение типичного участка поверхности покрытия сплава Co-Mo, полученного при плотности тока осаждения равной $1,25 \text{ А/дм}^2$ (толщина 1 мкм)

Пробные эксперименты по осаждению сплава Co-Mo в цитратном электролите с добавлением этилендиаминтетрауксусной кислоты в стационарном режиме не позволили получить качественное покрытие. Основными проблемами здесь являлись сложность управления процессом, низкая повторяемость результатов и неравномерность нанесения. Полученные покрытия отличались наличием «несплошностей» и окисленных участков.

Таким образом, в работе были определены условия осаждения электролитического сплава кобальт-молибден, способствующие получению сплошного покрытия с однородной структурой поверхностного рельефа толщиной до 6 мкм без трещин. Получение данного покрытия возможно из цитратного электролита на основе Na_3Cit в гальваностатическом режиме при катодной плотности тока не более $0,25 \text{ А/дм}^2$. Превышение указанного значения способствует переходу к нанокристаллической структуре покрытия и появлению трещин.

Библиографический список

1. L. Elias, A.C. Hegde, Electrodeposition and electrocatalytic study of Ni-W alloy coating, Mater. Sci. Forum, Trans Tech Publ 2015, pp. 651–654.
2. Бельский М.А., Иванов А.Ф. Электроосаждение металлических покрытий, М.:Металлургия, 1985 – 288 с.
3. N. R. N. Masdek, Z. Salleh, M. H. Koay, M. A. Ismail, Synthesis and characterization of Co-Mo alloy coating. Materials Science and Engineering 380 (2018).
4. Y. Messaoudi, N. Fenineche, A. Guittoum, A. Azizi, G. Schmerber, A. Dinia, A study on electrodeposited Co-Mo alloys thin films. Mater Electron (2013) 24:2962–2969.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПИНЧ-АНАЛИЗА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.С. Соленов

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, vadimsolenov3@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается сущность методики пинч-анализа. Показывается актуальность данной методики для современного Российского производства и алгоритм применения пинч-анализа для модернизации теплообменных систем.

Ключевые слова: пинч-анализ, нефтепереработка, теплообменное оборудование, диагностика, оптимизация, теплообменные системы.

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF PINCH ANALYSIS IN INDUSTRIAL MANUFACTURE

V.S. Solenov

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, vadimsolenov3@gmail.com

The summary. The paper deals with the essence of the pinch analysis method. It shows the relevance of this methodology for modern Russian production and the algorithm for applying pinch analysis for the modernization of heat exchange systems.

Keywords: pinch analysis, oil refining, heat exchange equipment, diagnostics, optimization, heat exchange systems

Введение

Интеграция процессов, очень часто называемая также пинч-технологией, представляет собой совокупность технологий, комбинирующих несколько технологических систем для уменьшения потребления ресурсов. Интеграция тепла, как область знаний, исследует потенциальные возможности улучшения и оптимизации теплообмена между источниками и потребителями тепла для сокращения потребностей во внешних энергоресурсах и для уменьшения затрат. В настоящее время эта методология обладает широким набором инструментов и процедур, позволяющих проектировать и оптимизировать перерабатывающие производства с высочайшим уровнем энергосбережения.

В России и странах бывшего Советского Союза эта технология не слишком известна и распространена.

Сущность процесса

Метод минимальных температурных интервалов (пинч-метод) позволяет: определять минимальную движущую силу процессов теплообмена между холодными и горячими потоками в технологической системе; декомпозировать технологическую систему на подсистемы: подсистему, использующую внешние энергоисточники - горячие утилиты, и подсистему, использующую внешние энергопотребители - холодные утилиты; определять величину целевого значения рекуперации в технологической системе; выбирать рациональный экономический компромисс между величиной энергозатрат и капитальных затрат при проектировании энергосберегающих технологических схем (рис. 1) [1].

По мере сближения составных кривых количество возможного рекуперированного тепла в системе увеличивается (т. к. область перекрытия кривых становится больше), а значения теплоты подводимого внешним энергоисточником - горячей утилитой $Q_{h_{min}}$ и отводимого хладоносителем - холодной утилитой $Q_{c_{min}}$ уменьшаются. И наоборот, по мере отдаления составных кривых количество рекуперированного тепла уменьшается, а $Q_{h_{min}}$ и $Q_{c_{min}}$ увеличиваются. Выбор правильного значения ΔT_{min} основывается на экономическом компромиссе между капитальными затратами и количеством рекуперированной теплоты [2].

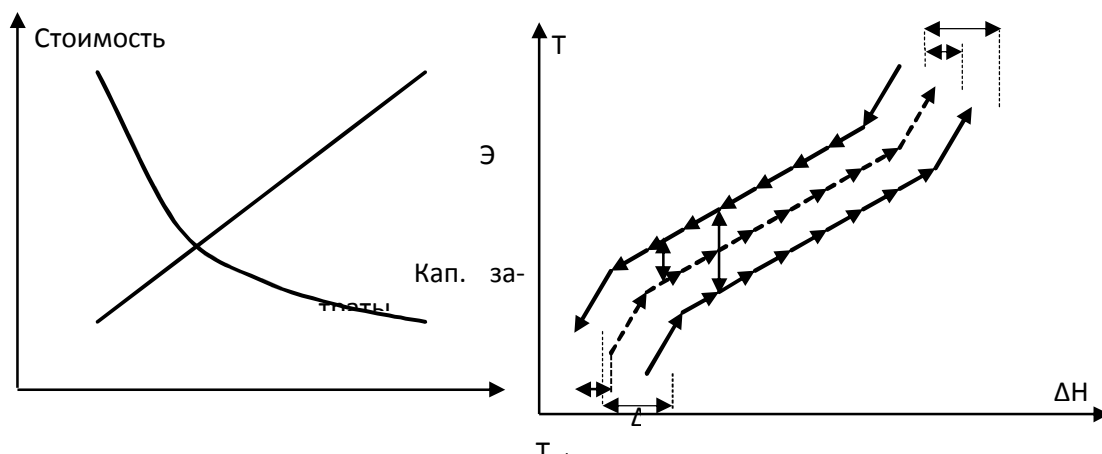


Рис. 1. Применение составных кривых для определения движущей силы процессов теплообмена в технологической системе

Методика пинч-анализа в современной России наиболее актуальна не для проектирования новых теплообменных систем, а для оптимизации уже существующих, так как большая часть оборудования проектировалась еще в Советском Союзе. Для применения пинч-анализа в этих целях необходим комплексный алгоритм оптимизации конструкции теплообменной системы с использованием существующих теплообменных аппаратов.

Данный алгоритм состоит из двух этапов [3]:

1. Диагностика.
2. Оптимизация.

Этап диагностики действующей системы теплообмена (СТ) применяется с целью выявления и выбора наилучших структурных изменений, которые необходимо применить к исходной СТ. Он связывает методику пинч-анализа с методами математического моделирования. На втором этапе разработанный вариант структуры СТ оптимизируется с применением математических методов. После этого анализируется полученный конечный вариант реконструкции СТ.

В представленном алгоритме применяются четыре математические модели: три линейные на этапе диагностики и одну нелинейную на этапе оптимизации. На этапе диагностики математические модели используются для последовательного определения отдельных изменений в структуре СТ с максимальной степенью рекуперации тепла, а на этапе оптимизации модель используется для минимизации затрат посредством компромисса «капитальные затраты - теплота» для оптимизированного варианта реконструкции СТ.

Этап диагностики и модернизации

Этап диагностики и модернизации является основным в комплексном алгоритме, так как именно на данном этапе устанавливается основной вариант реконструкции СТ. В процессе диагностики и модернизации друг за другом последовательно определяются структурные изменения СТ, для того, чтобы предоставить возможность проектировщику контролировать процесс проектирования.

Таким образом, данная последовательная процедура, в отличие от выбора всех структурных изменений одновременно, помогает разработать матрицу квази-оптимальных вариантов структуры СТ. Следовательно, представленный последовательный алгоритм определения модернизаций дает возможность учитывать практические ограничения, неизбежно возникающие при проектировании.

Варианты модернизации, которые рассматриваются на данном этапе это:

1. изменение месторасположения теплообменников в технологической схеме;
2. добавление новых теплообменников;
3. разделение массовых расходов и расчет энтальпий потоков.

Именно для определения и выбора месторасположения теплообменников и добавления новых теплообменников и применяются математические методы.

Кроме этого неотъемлемой частью диагностики теплообменных систем, в частности на установках переработки нефти, должен являться анализ влияния изменения теплообмена на процесс в целом, так как термодинамические показатели потоков напрямую влияют на тепловые балансы процесса и, как следствие, качество получаемых продуктов [4].

Этап оптимизации

Главная задача данного этапа - оптимизировать полученную структуру СТ, определенную на этапе диагностики. На этапе оптимизации также рассчитывается структура взаимосвязей и расходы разделенных потоков. На этом этапе не происходит изменение схемы расположения теплообменников, следовательно, структура СТ, определенная на этапе диагностики, остается неизменной.

Таким образом, на этапе оптимизации оптимизируется величина степени рекуперации тепла и площадь поверхности теплообмена в реконструируемой СТ. При этом в качестве оптимизируемой целевой функции используют стоимостные показатели. Методы математического программирования особенно подходят для решения подобных задач оптимизации. В случае, если нужно оценить несколько альтернативных проектных вариантов, каждый вариант оптимизируется отдельно.

Необходимо отметить, что данный комплексный алгоритм не требует задания целевых значений, хотя их можно использовать для оценки проектов. Но в целом, этот комплексный алгоритм не зависит от целевых значений, используемых при проектировании новых СТ [3].

Заключение

Одна из наиболее важных проблем во многих промышленных процессах - это снижение потребления энергии. Применение пинч-анализа является наиболее оптимальным решением данной проблемы на современных производствах. Он позволяет на основе термодинамических законов и математического моделирования анализировать, проектировать и реконструировать теплообменные системы производственных комплексов.

Библиографический список

1. Клемеш Й., Костенко Ю., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л., Капустенко П., Ульев Л., Перевертайленко А., Зулин Б. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки. Теоретические основы химической технологии, 1999, т.33, № 4, с. 420-431.
2. Смит Р. Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л., Капустенко П., Ульев Л. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков, НТУ «ХПИ», 2000, 458 с.
3. Булатов И.С. Пинч-технология. Энергосбережение в промышленности – СПб.: Страта, 2012. – 140 с.
4. Klemes JJ, Kravanja Z. Forty years of Heat Integration: Pinch Analysis (PA) and Mathematical Programming (MP). Current Opinion in Chemical Engineering. 2013.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДЕПРЕССОРНО-ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ПРИСАДОК ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

М.А. Сычев, В.В. Коваленко

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, maksrzn@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются основные проблемы и способы их решения при применении депрессорно-диспергирующих присадок для улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив.

Ключевые слова: депрессорно-диспергирующие присадки, низкотемпературные свойства дизельных топлив, температура помутнения, предельная температура фильтруемости.

THE MAIN PROBLEMS AND METHODS OF THEIR SOLUTION WHEN USING DEPRESSOR-DISPENSING ADDITIVES FOR IMPROVING THE NIZE-COTEMATURAL PROPERTIES OF DIESEL FUELS

M.A. Sychev, V.V. Kovalenko

*Ryazan State University of Radio Engineering,
Russian Federation, Ryazan, maksrzn@mail.ru*

The summary. The paper discusses the main problems and ways to solve them when using depressant-dispersant additives to improve the low-temperature properties of diesel fuels.

Keywords: depressant dispersant additives, low-temperature properties of diesel fuels, cloud point, limiting filterability temperature.

При производстве дизельных топлив для улучшения их низкотемпературных свойств (снижения предельной температуры фильтруемости) используются депрессорно-диспергирующие присадки (ДДП) различных производителей [1]. Нефтеперерабатывающие предприятия, которые производят межсезонное и зимнее дизельное топливо, часто сталкиваются с проблемой снижения эффективности работы депрессорно-диспергирующих присадок. В данной работе дан анализ основных факторов, которые ухудшают свойства ДДП.

Изменение качества поставляемой присадки

В связи с тем, что производители не раскрывают состав депрессорно-диспергирующих присадок, невозможно произвести эффективный входной контроль поступающих реагентов по содержанию действующих веществ: депрессора и диспергатора. Контроль осуществляется по косвенным характеристикам: внешнему виду, плотности, температуре застывания и др.

Для решения данной проблемы целесообразно внедрение контроля качества присадки методом инфракрасной спектроскопии. Сравнение спектров контрольного и нового образцов присадок позволит оценить отклонение химического состава поступившей на предприятие присадки и своевременно принять решение о целесообразности ее применения.

Ухудшение качества присадки при сливе

Депрессорно-диспергирующие присадки застывают при температуре 10-16 °С. Для слива присадок из транспортной емкости осуществляют ее нагрев. Производителями установлены предельные температуры (для большинства присадок 70-80 °С), после достижения которых возможно ухудшение качества ДДП.

При сливе присадки для её разогрева емкость поставщика подключается к водяному пару, имеющему температуру 180-220 °С. Температуру присадки в контейнере контролируют по термометру, установленному на нем. В данном случае существует риск неисправности термометра, так как его обслуживанием занимается третье лицо (перевозчик). Для решения данной проблемы необходимо осуществлять контроль температуры присадки в линии перекачки после контейнера.

При откачке недостаточно разогретой присадки возможны проскоки нерастворившихся «кусков». В связи с этим запрещается готовить рабочие растворы ДДП напрямую из контейнера. Все рабочие растворы готовятся только из присадки, предварительно слитой в емкость хранения и разогретой в ней до температуры 40-50 °С.

Условия применения присадки

Согласно требованиям производителей присадок температура концентрата присадки должна составлять 40-50°С, дизельного топлива в точке подачи присадки - 30- 50 °С, время циркуляции свежеприготовленного раствора присадки - 2-3 часа.

Изменение качества базового топлива

Выбор поставщиков ДДП для закупочных процедур на следующий год осуществляется на базовом топливе (без присадок) текущего года. Это влечет за собой уменьшение эффективности ДДП из-за изменении состава базового топлива.

Парафиновые углеводороды в зависимости от длины цепочки по разному влияют на низкотемпературные свойства дизельных топлив [2]:

- С8-С11 - определяют температуру помутнения;
- С12-С17 - отвечают за показатель ПТФ в исходном ДТ;
- С18-С22 — тяжелые н-парафины, которые осаждаются первыми и обеспечивают стабильность при холодном хранении;
- С23 - конец цепи - определяет снижение ПТФ после вовлечения присадки.

В таблице 1 и на рисунке 1 показано распределение н-парафинов в базовых топливах произведенных в разное время.

Таблица 1. Распределение нормальных парафинов в базовом дизельном топливе

№ п/п	Н-парафины	Содержание, % масс.		
		ДТ-Е-К5, сорт F от 13.03.2018	ДТ-Е-К5, сорт F от 24.11.2018	ДТ-Е-К5, сорт F от 04.12.2018
1.	C7	0,05	0,06	0,08
2.	C8	0,10	0,12	0,15
3.	C9	0,21	0,24	0,42
4.	C10	0,55	0,37	0,53
5.	C11	1,02	0,63	0,97
6.	C12	1,23	0,96	1,03
7.	C13	1,27	1,33	1,24
8.	C14	1,70	1,44	1,42
9.	C15	1,82	1,48	1,53
10.	C16	1,66	1,41	1,43
11.	C17	1,38	1,28	1,29
12.	C18	1,13	1,12	1,11
13.	C19	1,00	1,12	1,04
14.	C20	0,88	1,10	0,97
15.	C21	0,72	0,99	0,92
16.	C22	0,55	0,66	0,62
17.	C23	0,36	0,36	0,35
18.	C24	0,28	0,20	0,22
19.	C25	0,16	0,06	0,08
20.	C26	0,09	0,02	0,04
21.	C27	0,03	-	0,02
22.	C28	-	-	0,01

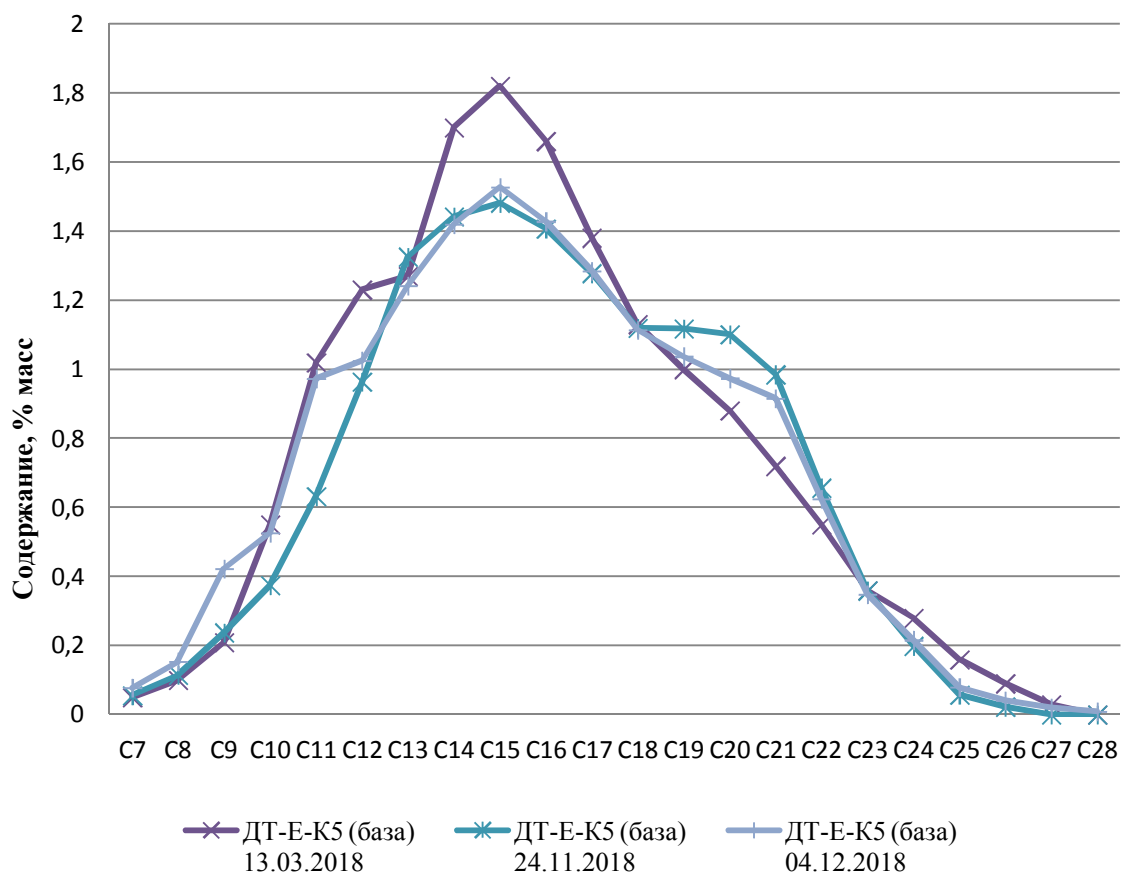


Рис. 1. Распределение н-парафинов в дизтопливах

Депрессорно-диспергирующая присадка Ехр. 1 тестировалась на базе от марта 2018 года, где сумма С23-С28 составляет 0,92 % масс. В базе от ноября и декабря 2018 года содержание парафинов 0,64 и 0,35 % масс. соответственно. Для получения стабильных топлив на данных базах было необходимо увеличение дозировки депрессорно-диспергирующей присадки – таблица 2.

Таблица 2. Результаты испытаний дизельных топлив на стабильность

Наименование базы	Наименование при- садки	Дозировка присадки, г/т	Температура помутнения, °C, ЕН 23015	ПТФ, °C, ГОСТ 22254	Седиментационная устойчивость, СТО 11605031-041-2010 ВНИИ НП				
					20% верхняя фаза		20% нижняя фаза		Оценка
					t _п , °C	ПТФ, °C	t _п , °C	ПТФ, °C	
ДТ-Е-К5, сорт F от 13.03.2018	Ехр. 1 Комплексал-ЭКО «Д»	550 300	-6	-22	-6	-21	-4	-20	Топливо стабильно
ДТ-Е-К5, сорт F от 24.11.2018	Ехр. 2 Комплексал-ЭКО «Д»	600 300	-5	-22	-7	-22	-3	-22	Топливо стабильно
ДТ-Е-К5, сорт F от 04.12.2018	Ехр. 2 Комплексал-ЭКО «Д»	700 300	-5	-22	-7	-20	-4	-23	Топливо стабильно

Таким образом, для получения стабильного топлива при изменении содержания парафинов в дизельном топливе необходимо увеличение дозировки депрессорно-диспергирующей присадки, однако это приводит к увеличению себестоимости. Возможны следующие варианты уменьшения влияния изменений компонентного состава базового дизельного топлива:

- производство базы для межсезонных и зимних сортов дизельного топлива с неизменным компонентным составом, однако для российских производственных условий данная рекомендация трудно реализуема;
- подбор присадки на базе текущего сезона, однако это связано с большими временными затратами (доставка образцов базы до иностранных научных центров, подбор компонентов присадки, ее промышленное производство за границей и транспортировка в Россию);
- развитие отечественных производств депрессорно-диспергирующих присадок рядом с крупными нефтеперерабатывающими предприятиями или же на их базе, что позволит оперативно реагировать на изменение компонентного состава базовых дизельных топлив и производить продукцию высокого качества.

Библиографический список

1. Агабеков В.Е. Нефть и газ. Технологии и продукты переработки [Электронный ресурс] : монография / В.Е. Агабеков, В.К. Косяков. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2011. — 459 с. — 978-985-08-1359-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/10108.htm>
2. Ганиева Т.Ф. и др. Топлива и масла. Методы улучшения их эксплуатационных свойств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.Ф. Ганиева. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Проспект Науки, 2017. — 112 с. — 978-5-906109-44-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/80060.html>.

УДК 66.092.094.25.097; ГРНТИ 61.51.19

ПРОИЗВОДСТВО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С УЛУЧШЕННЫМИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Е.М. Шалыгина

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, 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, н-парафины.

PRODUCTION OF DIESEL FUEL WITH IMPROVED LOW-TEMPERATURE PROPERTIES

Y.M. Shalygina

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, Shalyginae.m@mail.ru

The summary. 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.

В настоящее время дизельное топливо является одним из наиболее популярных и востребованных нефтепродуктов. Действие государственного стандарта на дизельные топлива накладывает ограничения на содержание серы и полициклических ароматических углеводородов, так как при сгорании они образуют токсичные выбросы, приводят к увеличению склонности топлива к нагарообразованию и к ухудшению значения цетанового числа.

Производство дизельных топлив

Производство дизельных топлив является сложным технологическим процессом, поэтому выпуск качественной продукции могут обеспечить только крупные нефтеперерабатывающие заводы, которые используют самые передовые технологии.

Процесс производства зимнего и арктического дизельного топлива состоит из нескольких этапов:

- первичная переработка, где происходит разделение обработанного сырья на составляющие его компоненты. Полученный продукт требует последующей переработки, так как обладает низкими характеристиками и качеством
- вторичная переработка - нефтепродукты подвергаются термическому и каталитическому воздействию для изменения химического состава и структуры углеводородов.
- компаундирование. Прямогонные фракции соединяют с компонентами, полученными при вторичной переработки с добавлением различных присадок. В результате получают товарное топливо.

Топлива используемые в районах с холодным климатом, должны обладать надлежащими низкотемпературными характеристиками - низкими значениями температуры помутнения и предельной температуры фильтруемости. Наибольшее негативное влияние на производство качественного дизельного топлива оказывают нормальные парафиновые углеводороды (число углеродных атомов в молекуле от 12), которые имеют высокие температуры плавления.

Процесс депарафинизации

Депарафинизация представляет собой изомеризацию или крекинг молекул парафинов с целью снижения температуры помутнения (CP), температуры застывания (PP) и предельной температуры фильтруемости (CFPP).

Может потребоваться в зимний период в регионах с холодным климатом для сохранения свойств текучести средних дистиллятов

- Автомобильного дизельного топлива
- Котельного топлива для систем отопления и промышленного применения

Основные предпосылки для использования:

- Переработка парафинистых нефтей
- Производство и транспортировка в регионах с холодным климатом или для таких регионов.

Применение различных присадок обеспечивают снижение температуры помутнения, но всего на несколько градусов °C.

При каталитической депарафинизации происходит удаление парафинов за счет конверсии в изомеризованные молекулы (т.е. с той же молекулярной массой, но с другими структурой и свойствами) и крекированные молекулы (т.е. с меньшей молекулярной массой).

В дизельных топливах содержатся главным образом неразветвленные парафины.

Депарафинизация заключается в обнаружении и выборочной конверсии парафинов, содержание которых составляет не более 10-15% по сравнению с 85-90% других типов молекул.

Каталитическая гидродепарафинизация это основной процесс переработки нефти, который направлен на селективное удаление н-алкановых углеводородов из различных нефтяных фракций с применением металлцеолитных катализаторов в присутствии водорода. Его применяют если стоит задача снижения температуры помутнения дизельных топлив и температуры кристаллизации авиационных топлив (Рисунок 1).

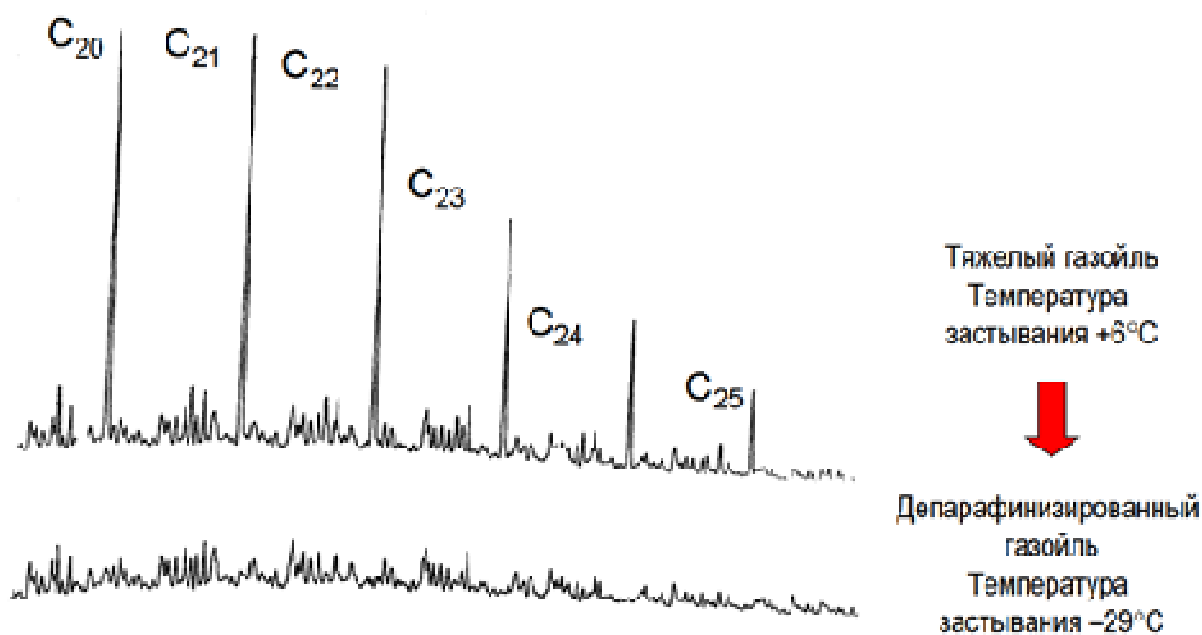


Рис. 1. Селективное удаление н-алкановых углеводородов

Одностадийная и двухстадийная депарафинизация

Для производства топлив с улучшенными свойствами при низких температурах применяют процесс депарафинизации. Существует одностадийная и двухстадийная депарафинизация (рисунок 2).

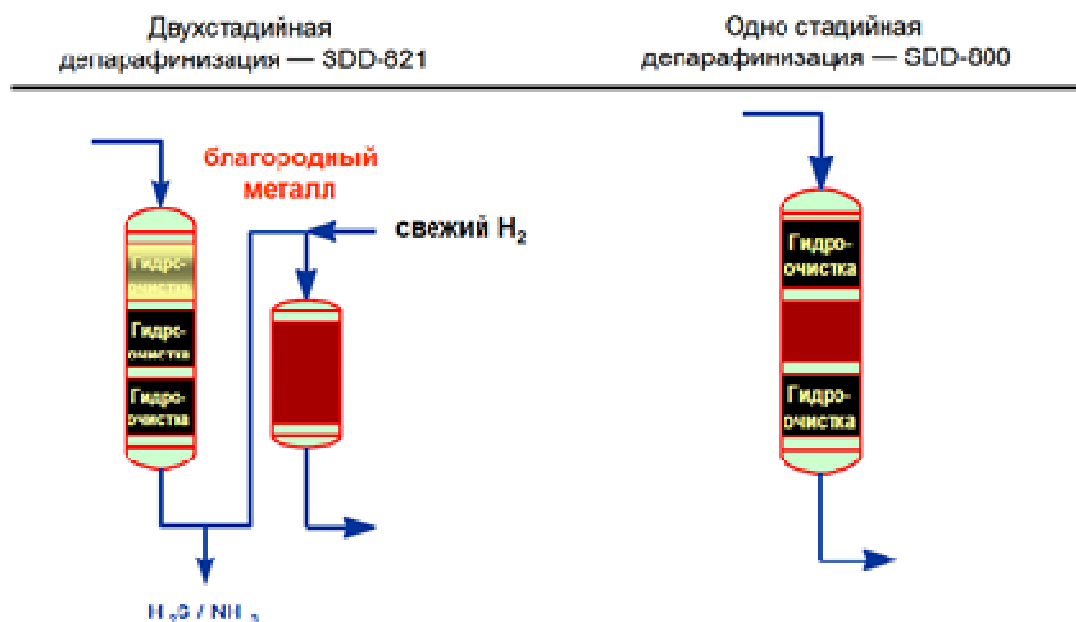


Рис. 2. Одностадийная и двухстадийная депарафинизация

В процессе одностадийной депарафинизации происходит удаление длинноцепных линейных парафинов за счет изомеризации и крекинга. Происходит сдвиг диапазона выкипания продукта, вследствие чего – снижение выхода продукта. За счет удаления нормальных парафинов незначительно снижается цетановое число и увеличивается плотность (для фракций с одинаковым диапазоном). На рисунке 2 представлено типичное распределение температуры кипения продукта для одностадийной депарафинизации.

Сдвиг температуры кипения при снижении температуры застывания на 15°C

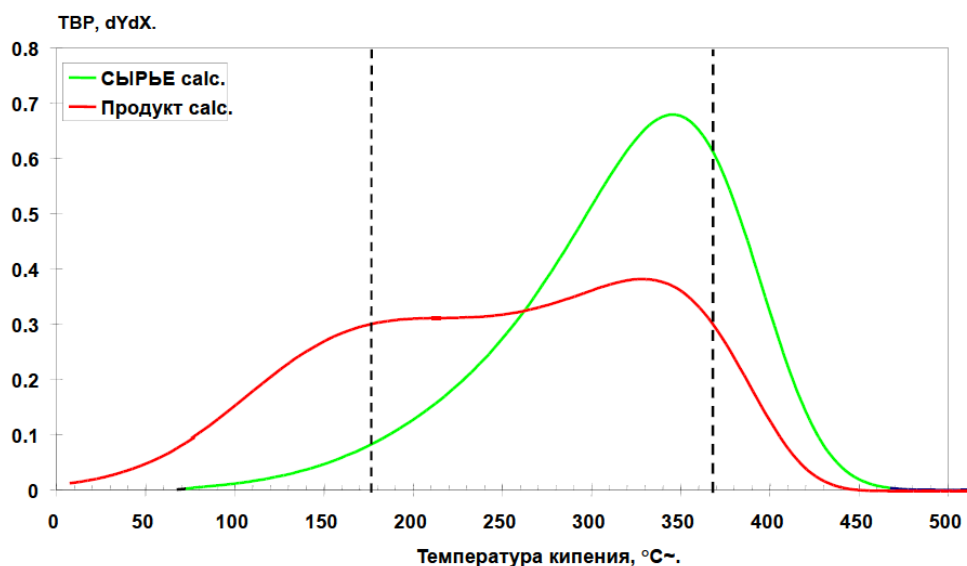


Рис. 2. Распределение температуры кипения продукта для одностадийной депарафинизации

При производстве дизельного топлива на двух-стадийной изомеризационной депарафинизации процесс происходит при температуре менее 340°C и относительно высоком давлении $55\text{--}60\text{ кг/см}^2$. В водородосодержащем газе отсутствуют H_2S и NH_3 . Процесс протекает далеко от зоны термодинамического равновесия. Получаемое топливо имеет низкое содержание азота и серы. В процессе двухстадийной депарафинизации используется достаточно дорогой платиносодержащий катализатор, но при этом достигаются длительные циклы работы при получении зимнего и арктического дизельного топлива превосходного качества. Другим важным преимуществом двухстадийной депарафинизации является небольшая потеря выхода продукта. В летнем режиме, при отсутствии необходимости производить топливо зимних сортов, этот процесс может быть использован для гидрирования компонентов дизельного пула с целью снижения содержания полиароматики, уменьшения плотности и увеличения цетанового числа. На рисунке 3 представлено типичное распределение температуры кипения продукта для двух-стадийной изомеризационной депарафинизации.

Сдвиг температуры кипения при снижении температуры застывания на 15°C

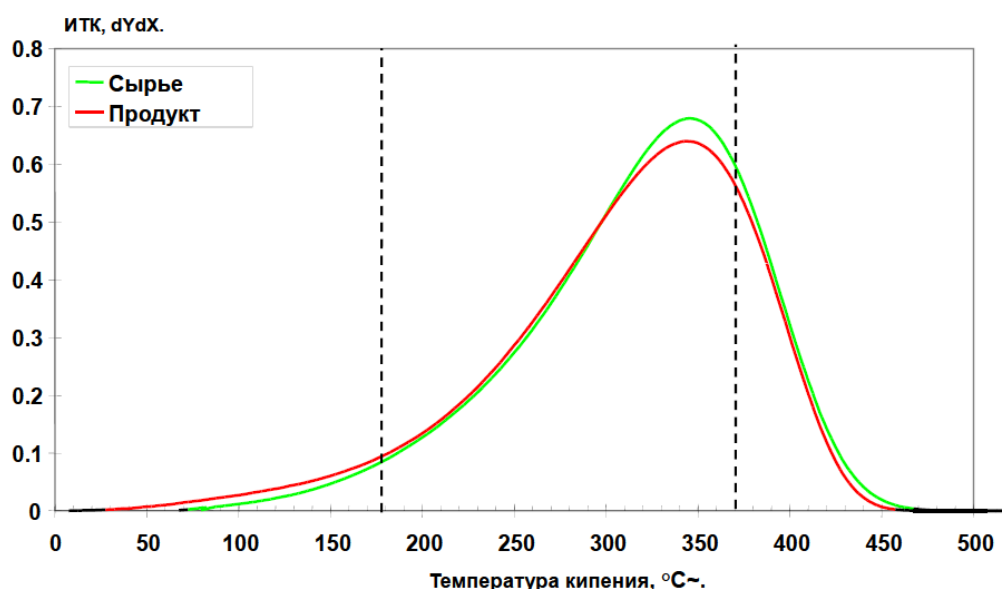


Рис. 3. Распределение температуры кипения продукта для двух-стадийной изомеризационной депарафинизации

Выводы

В Российской Федерации, как правило, зимнее и арктическое дизельное топливо производят путем корректировки состава продуктов переработки нефти. Нефть добываемая в стране содержит большое количество н-парафинов и парафинов малоразветвленного строения. Для производства качественной продукции ограничивают температуру кипения УВ фракций и разбавляют топливо более легкими фракциями. Данные способы не являются рациональными, так как это негативно сказывается на номенклатуре выпускаемой продукции и общей экономике НПЗ.

Применения процесса каталитической депарафинизации позволит:

- Обеспечить соответствие получаемого продукта требованиям технических условий по хладотекучести
- Сократить использования депрессорных присадок, и проблем с их применением
- Сократить количество керосина используемого для компаундирования топлива
- Повысить качества тяжелого сырья с высокой температурой помутнения/застывания
- Использовать более тяжелое сырье при компаундировании.

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.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О II МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2019»	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»	5
Секция «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»	5
Александров И. С. Оптимизация выбора вида модуляции для цифровой системы подвижной радиосвязи.....	5
Валуйский Д.В., Витязев С.В. Моделирование инверсной фильтрации при обработке сигналов с фазо-кодовой манипуляцией	7
Макаркин И.И. Управление межсотовой интерференцией в мобильных LTE-сетях	13
Филатов А.В. Полярные коды. Схема совметного кодирования источника и канала	17
Исаев М.О. Условия принятия жестких решений для демодуляции PSK-сигналов	22
Лошкарев А.И. Исследование современных схем помехоустойчивого кодирования, использующих недвоичные коды.....	28
Секция «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ»	30
Дубинин В.Н., Дубинин А.В., Климкина Л.П., Войнов А.С., Вяткин В.В. Представление и выполнение запросов к онтологической модели функциональных блоков ИЕС 61499 на языке ПРОЛОГ	30
Ивкина М.С. Подбор оптимальных параметров классификатора на основе леса решающих деревьев	35
Орлов Г.С. Построение функции принадлежности на основе полных нечётких множеств в задачах обработки социологических данных	40
Савин Д.С. Сравнительный анализ сред разработки по транспортному моделированию	44
Стенищева А.А. Автоматизация процессов деятельности субъектов малого предпринимательства в сфере проведения государственных закупок	48
Федосова Е.Б. Актуальность и проблемы применения QA-систем в области метрологии	51
Храмшина Е.О. Алгоритм APRIORI	54
Царамов М. Использование ассоциативного анализа как метода оптимизации информативности сайта	57

Секция «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ».....	62
Воронов М.В., Фомина В.Д., Шуварилова Т.П.	
Исследование химических и эксплуатационных свойств эстерового масла, полученного в лабораторных условиях	62
Лызлова М.В., Логинов В.С., Дёмочкина Я.В.	
Исследование базовых масел методом ИК-спектроскопии	66
Шуварилова Т.П., Лебедев Я.Э.	
Исследование условий проведения щелочной очистки дизельных фракций и тяжелых нефтяных остатков	70
Степанов Д.В., Трунькин Д.С., Шуварилова Т.П.	
Исследование возможности получения эстерового масла на лабораторной установке	72
Агаев М.Д., Шуварилова Т.П.	
Изменение состава и свойств бензина каталитического крекинга, полученного из гидроочищенного вакуумного газойля	78
Воронов М.В., Качанова Л.П., Степанов Д.В., Трунькин Д.С.	
Идентификация неизвестных веществ при их совместном присутствии	83
Байдавлетова З.М.	
Исследование химических и эксплуатационных свойств бензина каталитического крекинга в условиях гидроочистки.....	87
Глебов Д.А.	
Исследование влияния углеводородного состава дизельных топлив на эффективность действия депрессорно-диспергирующей присадки	93
Зубкова Е.В., Воробьева Е.В.	
Экологические аспекты использования установки тонкослойных модулей для доочистки сточных вод АО "РНПК".....	97
Игумнов П.В.	
Переобвязка теплообменников Т-4, Т-6 по теплоносителю с гудрона на 2 масляную фракцию на установке ЭЛОУ-АВТ-4.....	101
Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Ветшев К.А., Рубцова А.Д.	
Моделирование кинетики последовательных реакций в программе SMATH STUDIO	104
Мионов А.И., Коваленко В.В., Лызлова М.В.	
Исследование автоматизации подвода тепла к фракционирующему абсорберу на установке каталитического крекинга	107
Михалев С.И.	
Применение элементов Пельтье при реализации эффекта Зеебека для выработки дополнительной электрической энергии	111
Прощина А.Д., Мельник Г.И.	
Применение метода газовой хроматографии для анализа пропан-бутановых смесей	114
Редичева Т.В., Керимова М.Э., Коваленко В.В., Лызлова М.В.	
Исследование схем теплообмена технологических потоков блоков ЭЛОУ установок АВТ различной производительности	119
Гололобов Г.П., Суворов Д.В., Серпова М.А., Авраменко С.А.	
Особенности электрохимического синтеза покрытий на основе бинарного сплава Со-Мо	123
Соленов В.С.	
Возможности применения пинч-анализа на промышленном производстве	127

Сычев М.А., Коваленко В.В.

Основные проблемы и способы их решения при применении депрессорно-диспергирующих присадок для улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив

130

Шалыгина Е.М.

Производство дизельного топлива с улучшенными низкотемпературными свойствами

134

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 3

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.19. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 17,75.

Тираж 100 экз. Заказ № 1539.

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