



НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№3(22)

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2019



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XXII международной
научно-практической конференции*

№ 3 (22)
Март 2019 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2019

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки:
сб. ст. по материалам XXII междунар. науч.-практ. конф. – № 3 (22). –
М.: Изд. «МЦНО», 2019. – 34 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2019

Оглавление	
Раздел 1. Технические науки	4
1.1. Энергетика	4
ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ ПЕРЕВОДА НА ЗАКРЫТУЮ СХЕМУ ГВС СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Газизов Фарит Насибуллович	4
Физико-математические науки	10
Раздел 2. Астрономия	10
2.1. Астрофизика и звездная астрономия	10
ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ШИРИНЫ СПИРАЛЬНЫХ ВЕТВЕЙ ДИСКОВЫХ ГАЛАКТИК Савченко Сергей Сергеевич	10
Раздел 3. Физика	17
3.1. Приборы и методы экспериментальной физики	17
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПАВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАПЛИ Заводовский Александр Геннадьевич	17
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАПЛИ Заводовский Александр Геннадьевич	23
3.2. Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика	29
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ СИЛИЦИДА ЖЕЛЕЗА α -FeSi ₂ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ Si(001) И Si(111) Тарасов Иван Анатольевич Яковлев Иван Александрович Рауцкий Михаил Владимирович	29

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ЭНЕРГЕТИКА

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ ПЕРЕВОДА НА ЗАКРЫТУЮ СХЕМУ ГВС СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Газизов Фарит Насибуллович
технический директор ООО «Невская Энергетика»,
РФ, г. Санкт-Петербург

CRITERIA SELECTION FOR THE CONVERSION ANALYSIS OF CLOSED HOT WATER LOOPS FOR EXISTING HEATING SYSTEMS

Farit Gazizov
technical director Nevskaya Energetika LLC,
Russia, St. Petersburg

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы перехода на закрытую схему приготовления ГВС населенных пунктов российской федерации. Выполнен анализ различных схем приготовления гвс в закрытых системах. На основании анализа перспективных вариантов перехода на закрытую систему гвс предлагаются критерии, влияющие на выбор каждого из возможных решений. Выполнено разделение предложенных критериев на граничные условия и независимые переменные. Представлены поясняющие блок-схемы для учета критериев с

обоснованием их влияния на качественные и количественные показатели перспективных вариантов перехода на закрытую систему гвс.

Abstract. The article discusses the prospects of conversion to a closed scheme for domestic hot water settlements of the Russian Federation. The analysis of various schemes of preparation of hot water in closed systems. Based on the analysis of promising options for the conversion to a closed hot water system, the criteria affecting the choice of each of the possible solutions are proposed. The proposed criteria are divided into boundary conditions and independent variables. Explanatory flowcharts are presented to take into account the criteria with the justification of their impact on the qualitative and quantitative indicators of promising options for the conversion to a closed hot water system.

Ключевые слова: горячее водоснабжение; закрытая система; тепловой пункт; централизованное теплоснабжение; технико-экономический анализ.

Keywords: Hot water supply; closed system; heat station; district heating; technical and economic analysis.

Введение

С 2011 года в России возобновилась практика разработки схем теплоснабжения поселений и городов, которые предназначены для среднесрочного планирования спроса на тепловую энергию. На сегодняшний день отсутствует какая-либо утвержденная методика укрупненной оценки вариантов перевода на закрытую схему ГВС. Единственно возможный метод сравнения вариантов и оценки стоимости мероприятий по организации закрытой схемы ГВС – технико-экономическая проработка каждого варианта для отдельно взятого города.

1. Выбор критериев и анализ граничных условий

Для анализа перспективных вариантов перехода на закрытую систему ГВС необходимо оценить критерии, влияющие на выбор каждого из возможных решений. В табл. 1 представлены основные критерии и показатели, на которые они влияют.

Таблица 1.

**Основные критерии выбора варианта перевода
на закрытую систему ГВС**

№	Критерий	Показатель
1	Градус-сутки отопительного периода (ГСОП).	Тепловые потери с поверхности трубопровода / гидравлические потери в сетях.
2	Тип источника.	ТЭЦ/котельная.
3	Наличие места для размещения дополнительного оборудования у потребителя.	Габариты подвальных помещений жилых зданий.
4	Плотность населения.	Удельная тепловая нагрузка района (Гкал/км ²).
5	Пропускная способность сетей холодного водоснабжения (ХВС).	Гидравлические потери в сетях.
6	Наличие срезки для ГВС на температурном графике.	Температурный график тепловой сети.
7	Реальная тепловая нагрузка района.	Наличие или отсутствие резерва пропускной способности тепловой сети.
8	Соотношение пиковой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение.	Тепловые потери с поверхности трубопровода / гидравлические потери в сетях.
9	Тип грунта и возможность проведения работ.	Плотность городской застройки, благоустройство района, доступ к коммуникация и др.
10	Существующие схемы присоединения.	Соотношение существующих схем присоединения нагрузки на ГВС: открытая система / ИТП / ЦТП / четырехтрубная система.
11	Эксплуатационные затраты.	Срок службы трубопроводов и основного оборудования.

В табл. 1 рассмотрены исключительно базовые критерии оценки вариантов перевода на закрытую систему ГВС. В реальном проекте данный перечень может быть уменьшен или расширен в зависимости от актуальной ситуации в рассматриваемом проекте. Тем не менее, считается целесообразным разделение предложенных критериев на две категории:

- граничные условия (по типу логических переменных «истина/ложь»);

- независимые переменные (величина, которых будет меняться в разных проектах и пересчитываться в натуральные или денежные эквиваленты).

Среди базовых критериев, рассмотренных в табл. 1 в качестве граничных условий могут быть предложены позиции 2, 3, 6 и 10. На рис. 1 представлена поясняющая блок-схема для учета данных граничных условий.

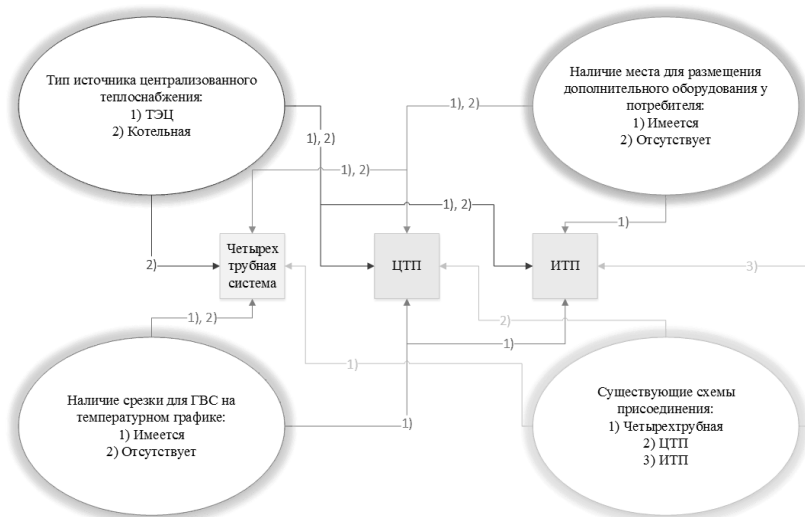


Рисунок 1. Блок-схема граничных условий

Остальные критерии, представленные в табл. 1 имеют количественную оценку (т у. т., кВт·ч, руб.) и рассматриваются в качестве независимых переменных: 1, 4, 5, 7, 8, 9, 11.

2. Анализ независимых переменных

На рис. 2 представлена поясняющая блок-схема для учета данных независимых переменных. Рассматриваемые критерии включают в себя: градус-сутки отопительного периода (ГСОП), плотность населения, пропускная способность сетей холодного водоснабжения (ХВС), реальная тепловая нагрузка района, соотношение пиковой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение, тип грунта, а также возможность проведения работ и эксплуатационные затраты. Данные независимые переменные представлены на схеме в виде серых квадратов и соединены с показателями, на которые они влияют.

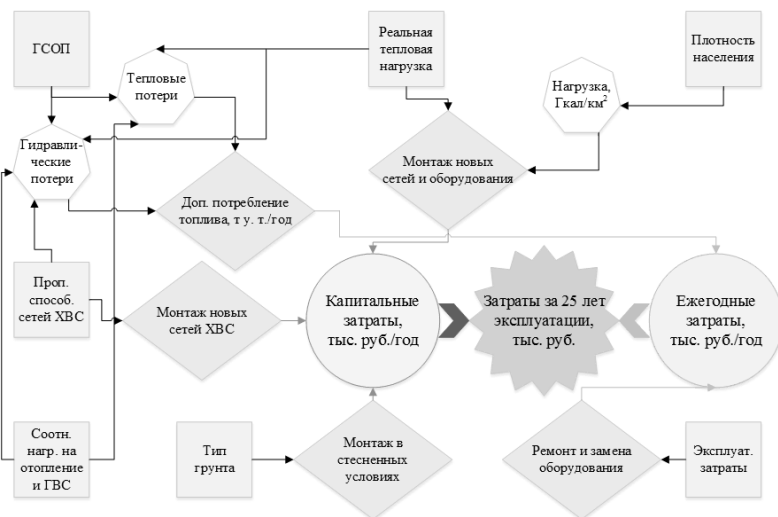


Рисунок 2. Блок-схема независимых переменных

Существенным отличием критериев на рис. 2 от позиций на рис. 1 является наличие натурального и, как следствие, денежного эквивалента, позволяющего численно оценить влияние каждой позиции на принятие решения о выборе приоритетной схемы ГВС района. Важной особенностью данной блок-схемы является разделение расходов на капитальные вложения и ежегодные затраты. Второй показатель становится крайне актуальным при сравнении тепловых и гидравлических потерь, а также стоимости ремонтных работ и замены основного оборудования. Далее рекомендуется складывать все экономические показатели за период 25 лет. Такой подход позволит выполнить более объективную оценку вариантов ЦТП/ИТП и четырехтрубной системы, т.к. учитывает номинальные сроки эксплуатации трубопроводного оборудования, которые для металлических изделий составляют 25 лет. Кроме того, заявленный период будет включать капитальные ремонты и замену теплообменного оборудования для решений с установкой тепловых пунктов по типу ЦТП/ИТП.

Заключение

В современных реалиях наиболее эффективным решением признается переход к ЦТП или ИТП через четырехтрубную систему подключения к источнику теплоснабжения. Считается, что данное решение, помимо повышения эффективности авторегулирования отопления, позволяет отказаться от распределительных сетей горячего водоснабжения, т. е. снизить потери тепловой энергии при транспортировке

и расход электроэнергии на привод сетевых насосов. При этом для 2-х трубной сети в отопительный период тепловые потери существенно ниже, за счет того, что площадь поверхности изоляции меньше чем для тех же условий при 4-х трубной схеме. Однако, в межотопительный период контур отопления останавливают и в данном случае уже площадь поверхности изоляции труб горячего водоснабжения меньше, по сравнению с 2-х трубной схемой (т.к. диаметры меньше). С другой стороны, в переходный период 2-х трубная сеть работает в зоне нижней срезки (полки ГВС), что влечет за собой «перетопы», при отсутствии автоматики регулирования отопительной нагрузки в тепловом пункте потребителей. Тогда как упомянутое явление не наблюдается при наличии 4-х трубной системы.

Таким образом, каждый из рассматриваемых вариантов может найти свое применение в зависимости от текущей ситуации и перспектив развития системы теплоснабжения данного района. Разработанная методика позволяет проводить экспресс-оценку экономических показателей модернизации системы теплоснабжения с выбором приоритетного решения.

Список литературы:

1. Макотрина Л.В., Селех Е.В. Энергосбережение в центральных тепловых пунктах // Вестник ИрГТУ. 2012. № 7. С. 120–125.
2. Шарпов В.И. О выборе способа горячего водоснабжения в теплофикационных системах городов // Сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ.
3. Шалагинова З.И. Методы теплогидравлического анализа режимов крупных теплоснабжающих систем // Теплоэнергетика. 2009. № 12. С. 44–49.
4. Газизов Ф.Н. Перспективы и проблематика широкого внедрения закрытой схемы приготовления ГВС в населенных пунктах Российской Федерации // Энергосбережение – теория и практика: Труды Девятой Международной школы – семинара молодых ученых и специалистов (2018 г., Москва). – М.: Издательский дом МЭИ, 2018, с. 537-541.
5. Газизов Ф.Н. Анализ перспектив перехода на закрытую систему горячего водоснабжения // Международный технико-экономический журнал. 2018 – № 3, с. 115-122.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 2.

АСТРОНОМИЯ

2.1. АСТРОФИЗИКА И ЗВЕЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ШИРИНЫ СПИРАЛЬНЫХ ВЕТВЕЙ ДИСКОВЫХ ГАЛАКТИК

Савченко Сергей Сергеевич

*канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,
Санкт-Петербургский Государственный университет, – СПбГУ,
РФ, г. Санкт-Петербург*

ON ESTIMATION OF THE WIDTH OF SPIRAL ARMS OF DISK GALAXIES

Sergey Savchenko

*PhD, senior researcher,
Saint Petersburg State University,
Russia, Saint Petersburg*

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-00194
«мол_а».*

Аннотация. Теория формирования и эволюции дисковых галактик предлагает несколько механизмов возникновения в них спирального узора. Для проверки их на практике требуется измерение различных параметров спиральных ветвей у выборки реальных галактик. В этой работе описывается новый метод определения ширины спиральных ветвей дисковых галактик, основанный на анализе их изображений.

Abstract. The theory of the formation and evolution of disk galaxies suggests several mechanisms of the spiral structure generation. To test them in practice the measurement of various parameters of spiral arms of real galaxies is required. In this work, a new method of the measurement of the width of spiral arms of disk galaxies based on the analysis of their images is proposed.

Ключевые слова: дисковые галактики; спиральные галактики; анализ изображений; алгоритмы.

Keywords: disk galaxies; spiral galaxies; image analysis; algorithms.

Введение. Первые попытки определения параметров спирального узора по фотографиям дисковых галактик были предприняты еще до того, как стало известно о внегалактической природе этих объектов [5]. Основные измеряемые параметры включали в себя число спиральных рукавов, их форму (флоккулентные, многорукавные и, так называемые, grand design галактики), угол закрутки (определяющий степень закрученности спиральных ветвей), контраст [6].

Другим важным параметром, характеризующим спиральные ветви, является их ширина, а также изменение ширины при движении вдоль спирали от центра галактики к периферии. В настоящее время существует лишь небольшое количество работ, посвященных измерению ширины спиральных ветвей, что связано с трудностью ее измерения. Так, в работах [1] и [4] предлагается оценивать ширину спиралей измеряя дисперсию координат расположенных в них областей НП. Недостатком такого подхода является необходимость определения координат достаточно большого количества областей НП, что является трудоемкой задачей и выполнимо только для самых близких галактик. Измерения ширины спирального узора для статистически значимой выборки галактик на данный момент отсутствуют.

В данной работе предлагается новый метод определения ширины спирального узора, основанный на анализе их изображений.

Подготовка изображений. Предварительным этапом, который необходимо выполнить перед применением предложенного в работе метода является первичная подготовка изображений. Ниже перечислены основные этапы подготовки изображений.

- Определение и вычитание присутствующего на изображении фона неба. Обычно, оценка фона производится путем аппроксимации свободных от объектов участков изображения двумерным полиномом заданной степени.

- Построение масок. Так как на изображении помимо исследуемой галактики, обычно, содержится ряд посторонних, “фоновых”, объектов (звезд и галактик), то необходимо исключить из дальнейшего рассмотрения участки изображения, занимаемые этими объектами. Для этого создается дополнительное изображение-маска с размером, равным размеру анализируемого изображения, где нулями обозначены свободные от посторонних объектов области изображения, а единицами – занятые фоновыми объектами области, которые нужно исключить.

- Исправление изображений за эффекты проекции. Галактики имеют произвольную ориентацию в пространстве (определяемую наклоном i и позиционным углом PA), и в результате проекции на небесную сферу они выглядят искаженными. Исправление этого эффекта производится путем поворота изображения галактики на угол PA и его последующим растяжением вдоль малой оси галактики на величину $1/\cos(i)$.

- Вычитание осесимметричной составляющей галактики. Так как спиральный узор в галактиках наблюдается на фоне подстилающего диска, то измерение его параметров может быть искажено вкладом подложки. Чтобы уменьшить вклад диска в анализ спирального узора можно аппроксимировать изображение галактики набором концентрических эллипсов, а затем вычесть из изображения полученную модель. Из-за того, что полученная модель может учитывать только осесимметричную составляющую галактики (то есть подстилающий диск), но не может учесть неосесимметричные компоненты (такие как спирали), то на разностном изображении контраст спирального узора возрастет. Построение такой эллиптической модели может быть произведено по методу, описанному в работе [2].

Подготовленные таким образом изображения галактик далее могут быть использованы для определения параметров спирального узора.

Описание метода. Основная идея метода заключается в том, что для набора точек, расположенных на спиральном рукаве производится фотометрический срез поперек рукава, а затем выполняется аппроксимация этого среза аналитической функцией. Ширина спиральной ветви извлекается из значений оптимальных параметров аппроксимирующей функции.

В качестве нулевого приближения для алгоритма требуется несколько точек (около 10), расставленных вдоль спирального рукава. Эти точки могут быть расставлены пользователем вручную, так как точность их положения не влияет на работу метода.

Далее эти точки используются для того, чтобы построить сглаженную спираль и автоматически выставить на ней большее число (порядка 100) точек, в которых будут делаться срезы. Для этого расставленные вручную точки соединяются попарно отрезками логарифмической спирали:

$$r(\phi) = r_0 \cdot e^{\tan \mu(\phi - \phi_0)},$$

где: r и ϕ - координаты точек в полярной системе координат, а μ -- угол закрутки. Новые точки равномерно выставляются вдоль этой интерполирующей логарифмической спирали.

На следующем этапе для каждой точки на спиральном узоре вычисляется перпендикуляр к спирали, вдоль которого вычисляется срез. Угловой коэффициент перпендикуляра к логарифмической спирали с углом закрутки μ в точке с позиционным углом ϕ может быть найден по формуле

$$\zeta = -\frac{\tan \mu \cos \phi - \sin \phi}{\tan \mu \sin \phi + \cos \phi}.$$

Результат этого этапа для галактики PGC2182 показан на Рис. 1: слева показано положение точек, выставленных пользователем (синим и зеленым показаны точки, принадлежащие разным рукавам), в центре – интерполированные при помощи логарифмических спиралей точки, справа – набор перпендикуляров к спиральям в каждой точке, вдоль которых будут выполняться фотометрические срезы. Представленное изображение получено из базы данных Slon Digital Sky Survey (фильтр r).

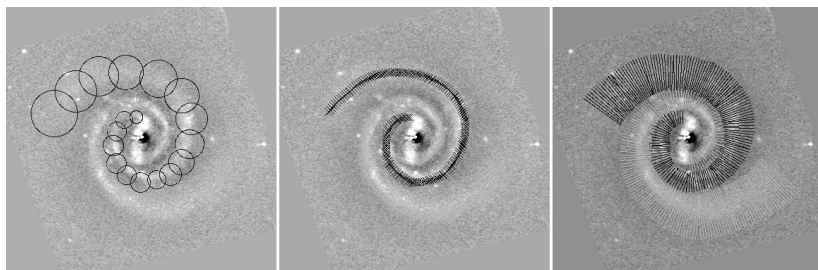
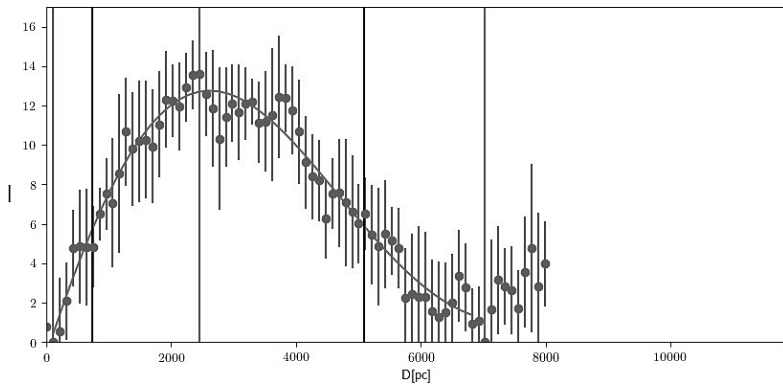


Рисунок 1. Точки на рукавах галактики PGC2182

Далее, вдоль каждого перпендикуляра к спирали находится фотометрический срез, то есть зависимость значения интенсивности от положения на срезе. Внешний вид данного среза представляет собой колоколообразную кривую, пик которой соответствует самой яркой точке в центре спирального рукава, по обе стороны от которой наблюдается постепенный спад интенсивности. Кривую такой формы можно аппроксимировать кривой Гаусса. По теории спиральных волн плотности [3] ожидается, что профиль спиральной ветви может быть асимметричным (форма переднего фронта движущейся по диску спиральной волны плотности определяется процессом звездообразования в сжатом ударной волной газе, форма внутренней стороны спирали определяется постепенным затуханием и дисперсией скоростей родившихся в рукаве звезд) [7]. В связи с этим, в работе предлагается аппроксимировать срез асимметричной кривой Гаусса, с разным значением полуширины по обе стороны от пика:

$$f(r) = \begin{cases} A \cdot e^{-\frac{(r-b)^2}{w_1^2}}, & r < b \\ A \cdot e^{-\frac{(r-b)^2}{w_2^2}}, & r \geq b \end{cases}$$



где A – амплитуда пика, характеризующая максимальную интенсивность рукава в данном срезе, b – положение пика, w_1 и w_2 – характеризуют ширину кривой соответственно слева и справа от пика. Поиск оптимальных параметров модели производится методом градиентного спуска. Для увеличения соотношения сигнал/шум при аппроксимации применяется осреднение нескольких расположенных рядом срезов (предполагается, что форма спирального рукава не изменится значительно на таком малом масштабе).

Рисунок 2. Пример аппроксимации фотометрического среза спирального рукава

Пример аппроксимации фотометрического среза спирального рукава показан на Рис. 2. Зелеными кружками показано наблюдаемое изменение интенсивности вдоль спирального рукава, непрерывной синей кривой – аппроксимация наблюдаемой интенсивности предложенной моделью. Вертикальные черные линии показывают положение, где интенсивность достигает половины от максимума слева и справа от пика. Это значение и является конечным параметром, измерение которого производится предложенным методом. Стоит отметить, что на данном срезе хорошо просматривается асимметричность распределения интенсивности поперек спиральной ветви.

Если применить данный метод поочередно ко всем точкам вдоль спирального рукава, то можно проследить, как меняется ширина спиральной ветви по мере удаления от центра галактики. Пример такого анализа приведен на Рис. 3. На этом рисунке показано измерение ширины одного из рукавов галактики PGC2182. Красными точками показаны положения пиков интенсивности спирального узора, фиолетовой и синими кривыми – положение линий половинной интенсивности, определяющих ширину спирального узора. Красные стрелки показывают направление и ширину последнего (самого далекого от центра галактики) среза. Хорошо видно, что для данной галактики ширина спирального рукава увеличивается по мере удаления от ее центра.

Заключение. Предложен метод измерения ширины спиральных ветвей дисковых галактик, работающий на основе их изображений. Метод позволяет определить не только значение ширины спирали, но и наличие возможной асимметрии распределения интенсивности в спиральном рукаве. Применение описанного метода к разным участкам спирального узора позволяет проследить, как изменяется ширина спирали по мере удаления ее от центра галактики.

Дальнейшая работа. В качестве развития данной работы предлагается применить описанный метод для оценки параметров спирального узора для большой выборки близких спиральных галактик. Кроме того, из результатов работы метода предлагается извлечь дополнительные параметры спирального узора, такие как угол закрутки и изменение интенсивности при движении вдоль спирального рукава (эти величины могут быть легко получены из анализа положения пиков интенсивности на спиральной ветви, показанных красными точками на Рис. 3).

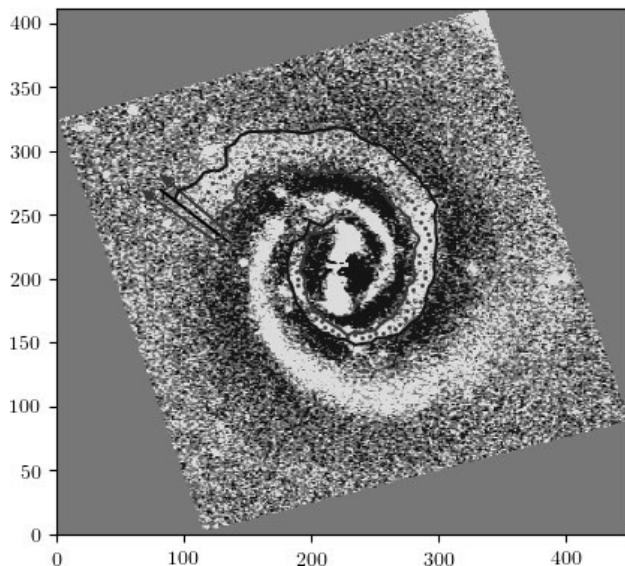


Рисунок 2: Изменение ширины спирального рукава галактики PGC2182

Список литературы:

1. Honig Z.N., Reid M.J., Characteristics of Spiral Arms in Late-type Galaxies // The Astrophysical Journal – 2015, Vol. 800, Issue 1, p 53.
2. Jedrzejewski R., I., CCD surface photometry of elliptical galaxies – I. Observations, reduction and results // Mon. Not.R. astr. Soc – 1987, Vol 226, Issue 1, p. 747.
3. Lin C.C., Shu F.H., On the spiral structure of disk galaxies // Astrophysical Journal – 1964, vol 140, p 646.
4. Ried M. et al., Trigonometric Parallaxes of High Mass Star Forming Regions: The Structure and Kinematics of the Milky Way // The Astrophysical Journal – 2014, Vol. 783, Issue 2, p. 130.
5. Von der Pahlen E. Über die Gestalten einiger Spiralnebel // Astron. J. – 1911, Vol. 188, Issue 15, p. 249.
6. Yu S., et al., The Carnegie-Irvine Galaxy Survey. VI. Quantifying Spiral Structure // The Astrophysical Journal – 2018, Vol. 862, Issue 1, p. 13.
7. Yuan C., Grosbol P., Surface photometry of spiral galaxies. I. Theoretical color variation and surface brightness across spiral arms // The Astrophysical Journal – 1981, Vol 243, p. 432.

РАЗДЕЛ 3.

ФИЗИКА

3.1. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПАВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАПЛИ

Заводовский Александр Геннадьевич

*канд. физ.-мат. наук, доцент,
Сургутский государственный университет,
РФ, г. Сургут*

DETERMINATION OF THE OPTIMAL CONTENT OF A SAC IN AQUEOUS SOLUTION BY A ROTATING DROPS METHOD

Alexandr Zavodovskiy

*Cand. Phys.-Mat. Sciences, associate professor,
Surgut State University,
Russia, Surgut*

Аннотация. Целью работы является определение оптимального содержания ПАВ в водном растворе при добыче нефти с помощью метода вращающейся капли. Результаты исследования нескольких образцов ПАВ при различной концентрации раствора и его температуре позволили выбрать из них наиболее эффективный образец для разработки нефтяного месторождения.

Abstract. The aim of the work is to determine the optimal content of surfactant in an aqueous solution during oil production using the rotating drop method. The results of the study of several surfactant samples at different

concentrations of the solution and its temperature allowed us to choose the most effective sample for the development of an oil field.

Ключевые слова: коэффициент поверхностного натяжения; нефть; ПАВ, метод вращающейся капли; эмульгатор; неонол; полиэкс; нефтенол; эмультал; оксанол.

Keywords: surface tension factor; oil; surfactans; spinning drop method; chemicals emulgent; neanol; polieks; neftenol; emultal; oksanol.

Добыча нефти, обычно, проходит в три этапа: естественный выход нефти благодаря внутрипластовому давлению, вытеснение нефти водой, а далее «вымывание» за счёт использования водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В результате проведения первых двух этапов примерно около 70 % нефти остается в пласте. При этом, если в начале эксплуатации скважин наблюдается достаточный дебит нефти, то, с течением времени, происходит его снижение. Данный эффект связан с тем, что капельки воды задерживаются в сужениях капиллярных поровых каналов породы нефтяной залежи.

Соппротивление этих капелек движению пропорционально поверхностному натяжению и может доходить до больших значений.

Это сопротивление должно преодолеваться параллельным потоком окружающей нефтяной фазы. Давление в пласте, однако, для этого недостаточно.

Для того, чтобы добыть хотя бы часть этой оставшейся нефти, используют водные растворы различных ПАВ, которые при определенных концентрациях могут значительно снижать поверхностное натяжение на границе нефть – вода. Применение ПАВ позволяет дополнительно добыть ещё от 15 до 60 % оставшейся нефти.

Для определения эффективности действия того или иного ПАВ, применяют различные методы, с помощью которых проводят исследования, как правило, в лабораторных условиях. Одним из современных экспериментальных методов, который позволяет определять очень низкие поверхностные натяжения, является метод вращающейся капли [1, 2].

Определение оптимальной концентрации ПАВ при данных о температуре в забое нефтяной скважины позволяет эффективно использовать раствор ПАВ и экономить средства, затрачиваемые на их покупку, при нефтедобыче [3].

В работе была использована нефть НГДУ «Быстринскнефть», Северо-Юрьевского месторождения. Куст 40, скважина 2155 эцн-30, периодическая. Дебит – 3500 кг/сут., H_2O – 18%, плотность – 860 кг/м³.

Лабораторией СургутНИПИнефть были предоставлены несколько поверхностно-активных веществ: Неонол АФ, Оксанол КД-6, Эмультал Э21, Полиэкс экс-ЭМм.Б., Нефтенол.

Неонол АФ – оксизтилированный алкилфенол на основе тримеров пропилена представляет собой техническую смесь полиэтиленгликолевых эфиров моноалкилфенолов и является высокоэффективным неионогенным поверхностно-активным веществом. Применяется для интенсификации добычи нефти.

Оксанол КД-6 – смесь полиоксиэтиленгликолевых эфиров синтетических спиртов фракции $C_8 - C_{10}$. Применяется для получения поверхностно-активных веществ в качестве компонента синтетических моющих средств.

Эмультал Э21 – техническое неионогенное ПАВ. Содержит смесь сложных эфиров олеиновой, линолевой, линоленовой, смоляных кислот таллового масла и триэтаноламина (80% по массе); остальное – неэтерифицированные жирные кислоты, их амиды, другие органические вещества, вода. Эффективно стабилизирует нефтеэмульсионные глинистые растворы с различным содержанием твердой фазы. Используется в качестве эмульгатора для приготовления высококонцентрированных гидрофобных инвертных эмульсий, в которых дисперсионной средой является углеводород (дизельное топливо, лёгкая нефть), а дисперсионной фазой - вода (техническая пресная или минерализованная). Применяется в различных технологических процессах при строительстве, эксплуатации и ремонте нефтяных и газовых скважин (глушение скважин, промывка ствола при первичном вскрытии продуктивных пластов, обработка призабойных зон для интенсификации притока нефти).

Такие системы, при применении их на различных стадиях строительства скважин, позволяют максимально сохранить коллекторские свойства продуктивных пластов (прежде всего фазовую проницаемость по нефти), исключают набухание глинистых минералов пласта, коррозию оборудования, образование нерастворимых осадков при контакте с минерализованными водами.

Эмультал не теряет эмульгирующей способности в присутствии хлоридов натрия и кальция вплоть до насыщения им водной фазы эмульсии. Температурный предел эмульгирующего действия эмультала – 90°C.

Полиэкс экс-ЭМм.Б. – представляет собой комплексный реагент, включающий эмульгатор и добавку, снижающую температуру застывания и повышающую стабильность эмульсии. Он позволяет, в зависимости от соотношения и состава водной и органической фаз, получать устойчивые гидрофобные эмульсии в широком диапазоне плотности,

эффективной вязкости и структурно-реологических свойств. Эмульсии являются термически стабильными: при температуре 80-90°C не наблюдается расслоения на водную и органическую фазы. Предназначены для глушения скважин в осложненных условиях, в частности, с высоким газовым фактором, низким пластовым давлением или при наличии поглощения, также для глушения скважин.

Нефтенол – углеводородный раствор сложных эфиров олеиновой, линолевой, линоленовой, а также смоляных кислот. Применяется для приготовления инвертных эмульсий, используемых для повышения нефтеотдачи пластов, в бурении, для ремонта скважин.

В процессе выполнения работы определялась температурная зависимость коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ при разной концентрации поверхностно-активных веществ. Анализ полученных результатов позволил оценить эффективность действия исследуемых ПАВ.

При температуре 20°C были исследованы концентрационные зависимости для всех используемых в работе ПАВ. Экспериментальные данные представлены на рис. 1.

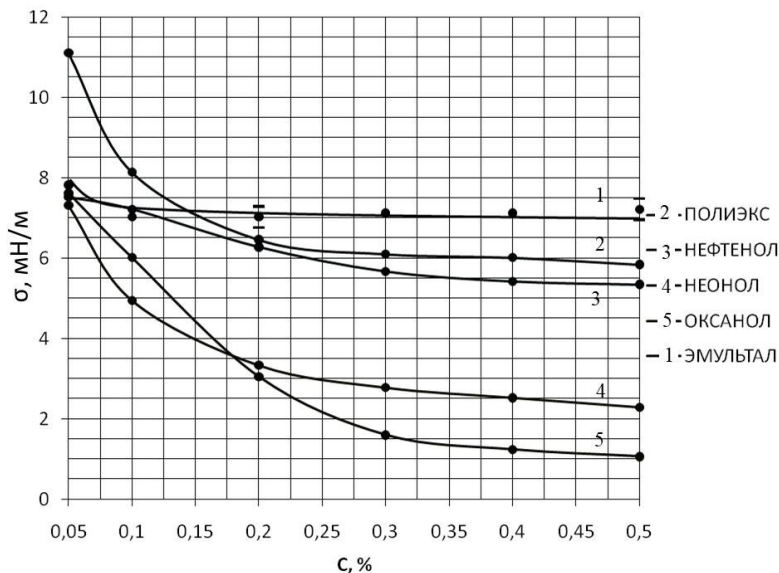


Рисунок 1. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения на границе водный раствор ПАВ – нефть от концентрации ПАВ при температуре 20°C

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением концентрации ПАВ в растворе поверхностное натяжение на границе нефть-раствор ПАВ уменьшается и при его значении равном 0.5 % достигает постоянной величины. Поэтому для проведения температурных измерений используется водный раствор ПАВ именно с этой концентрацией. Полученные экспериментальные результаты представлены на рис. 2.

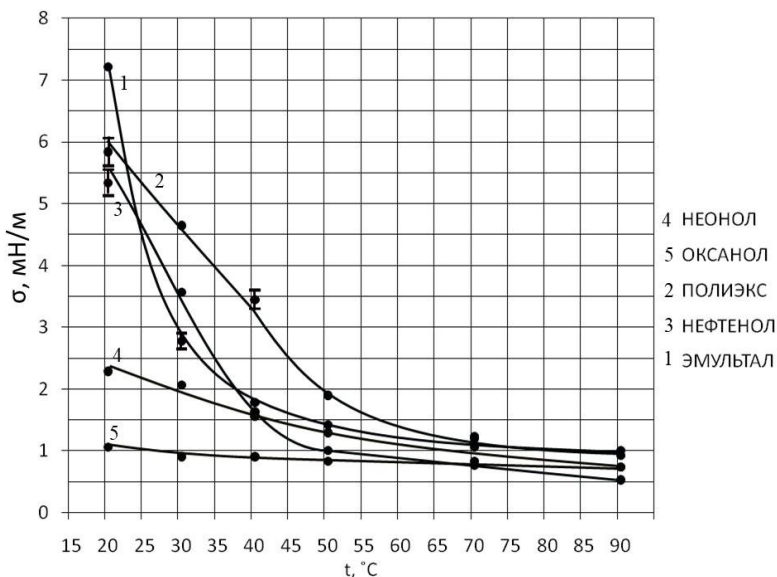


Рисунок 2. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения на границе водный раствор ПАВ – нефть от температуры при концентрации водного раствора ПАВ 0.5%

При увеличении температуры коэффициент поверхностного натяжения на границе нефть-раствор ПАВ резко уменьшается и при температуре 90°C достигает стабильного малого значения. Наименьшее значение коэффициента получается для поверхностно-активного вещества Нефтенол. Оно составляет примерно 0.5 мН/м. Для эффективного применения раствора ПАВ и экономии средств, затрачиваемые на покупку поверхностно-активных веществ, необходимо использовать небольшие концентрации ПАВ в растворе. Поэтому можно попробовать провести оптимизацию раствора ПАВ по концентрации при температуре близкой к пластовой (рис. 3).

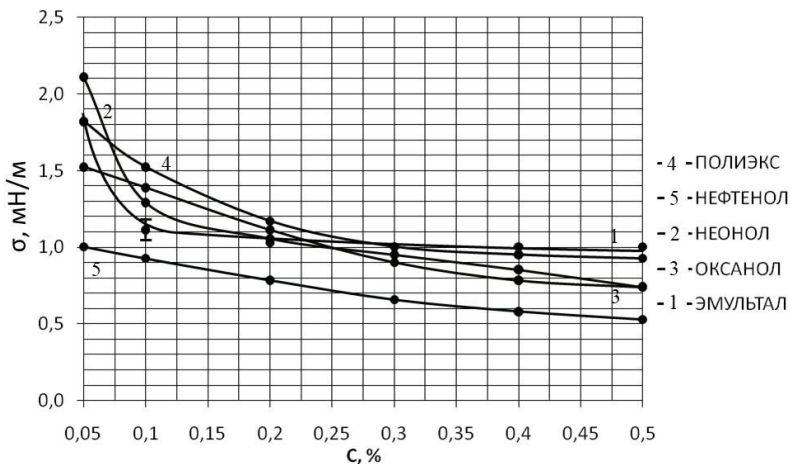


Рисунок 3. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения на границе водный раствор ПАВ – нефть от концентрации ПАВ при температуре 90°C

Эксперименты при температуре близкой к температуре в зоне забоя нефтеносного пласта (порядка 90°C) показали, что при достижении концентрации ПАВ Нефтенол в водном растворе 0.2% коэффициент поверхностного натяжения на границе водный раствор ПАВ – нефть достигает значения 0.8 мН/м. Такой концентрации раствора ПАВ уже достаточно для добычи оставшейся в породе нефти.

Другие виды ПАВ показывают такой результат при гораздо больших концентрациях, что делает применение Нефтенола самым эффективным и выгодным.

Список литературы:

1. Vonnegut B. Rotating bubble method for the determination of surface and interfacial tensions. // Research and development laboratories, Hartford-Empire Company, Hartford, Connecticut. 1942. V.13, P.6-9.
2. Гашумова Л.А., Ненахова Н.А., Заводовский А.Г. Определение коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор ASP методом вращающейся капли // Известия вузов. Сер. Нефть и газ, 2014, № 5. – С. 10-15.
3. Абрамзон А.А. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества. – Л.: Химия, 1984. – 392 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАПЛИ

Заводовский Александр Геннадьевич

*канд. физ.-мат. наук, доцент,
Сургутский государственный университет,
РФ, г. Сургут*

THE STUDY OF SURFACE TENSION BY THE ROTATING DROPLET METHOD

Alexandr Zavodovskiy

*cand. phys.-mat. sciences,
associate professor, Surgut State University,
Russia, Surgut*

Аннотация. Целью данной работы является определение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ с помощью метода вращающейся капли нефти. Для подтверждения достоверности получаемых результатов с помощью используемой экспериментальной установки были проведены опыты с образцами, свойства которых известны. Результаты исследования двух образцов ПАВ при различной концентрации позволили определить наиболее эффективный и выгодный для добычи используемой нефти из скважины.

Abstract. The purpose of this study is to determine the temperature dependence of surface tension at the oil – aqueous surfactant solution by the method of rotating drops of oil. To validate the results obtained by use of the experimental device, experiments were conducted with samples whose properties are known. Results of the study of several samples with different surfactant concentration allowed us to determine the most effective and beneficial for the extraction of used oil from well.

Ключевые слова: коэффициент поверхностного натяжения; нефть; ПАВ; метод вращающейся капли; эмульгатор; неонол; полиэкс.

Keywords: surface tension factor; oil; surfactans; spinning drop method; chemicals emulgent; neonol; polieks.

Поверхностное межфазное натяжение на границе жидкость – газ, жидкость – жидкость, жидкость – твердое тело является одним из важнейших факторов, определяющим многие технологические процессы. В качестве основного способа регулирования его величины применяются разнообразные поверхностно-активные вещества (ПАВ). Для определения значения поверхностного натяжения используются различные экспериментальные методы, которые в зависимости от состояния поверхности делятся на три группы: статические, полустатические и динамические. Каждый из используемых методов имеет свою область применения, достоинства и недостатки. Для определения малого межфазного натяжения известные классические методы не подходят, т. к. силы взаимодействия между молекулами малы, а сама поверхность очень нестабильна.

Метод вращающейся капли [1] относится к статическим методам и позволяет измерять очень низкие значения межфазного натяжения на границе жидкость – газ и жидкость – жидкость. Диапазон измерения поверхностного натяжения составляет от 10^{-7} до 100 мН/м. В этом методе против сил поверхностного натяжения используют центробежные силы.

Капля легкой фазы А (масло, нефть, газ) с плотностью ρ_1 вводится с помощью капилляра в толщу тяжелой фазы В с плотностью ρ_2 , находящейся в рабочей кювете. Кювета вращается вокруг своей оси с заданной частотой ω . При этом молекулы межфазного слоя подвергаются воздействию центробежных сил, направленных от оси вращения. При определенной частоте вращения ω силы межфазного натяжения становятся равными центробежной силе и молекулы в межфазном слое начинают двигаться по определенной траектории с радиусом r . В результате капля вытягивается вдоль оси вращения и принимает форму цилиндра при равновесии сил (рис. 1).

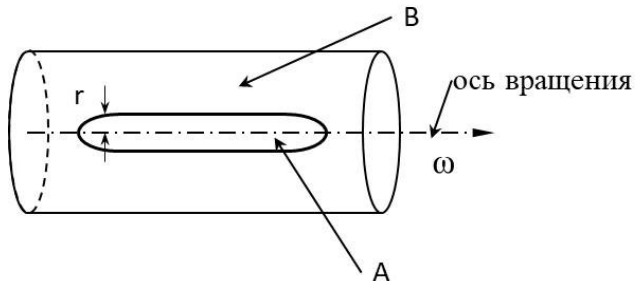


Рисунок 1. Определение параметров вращающейся капли

Измеряя значение радиуса r цилиндрической капли при данном значении частоты вращения кюветы ω и определяя разность плотностей фаз $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$, можно рассчитать величину поверхностного межфазного натяжения σ с помощью формулы:

$$\sigma = \frac{\omega^2 r^3 \Delta\rho}{4}.$$

Для исследования поверхностного натяжения на границе раздела различных фаз была создана экспериментальная установка по методу вращающейся капли, подробно описанная в работе [2]. Для проверки правильности ее работы были выполнены эксперименты по определению зависимости поверхностного натяжения на границе вода – воздух от температуры. Методика проведения таких экспериментов представлена в работах [3, 4]. Полученные результаты показаны на рис.2.

На этом графике также представлены табличные данные [5], полученные другими экспериментальными методами. Сравнение результатов показывает, что они совпадают в пределах погрешности. Кроме этого, было определено поверхностное натяжение на границе этиловый спирт – воздух. Полученное значение в пределах погрешности совпало с табличным значением. Таким образом, данный метод позволяет проводить исследования поверхностного межфазного натяжения с различными жидкостями и газами.

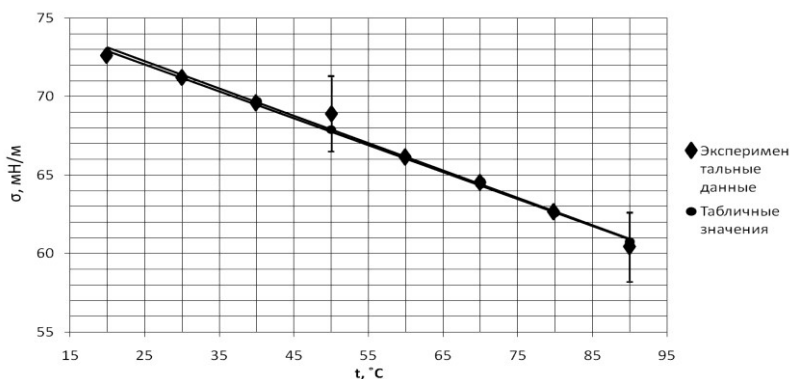


Рисунок 2. Температурная зависимость поверхностного натяжения на границе вода – воздух

В процессе изучения возможностей метода были также выполнены эксперименты по определению поверхностного натяжения на границе вода – нефть при температуре 20 °С. Использовалась нефть Северо-Юрьевского месторождения НГДУ «Быстринскнефть» с плотностью 860 кг/м³. Полученное опытное значение $\sigma_3=(28,5\pm 0,9)$ мН/м в пределах погрешности совпало с известным табличным значением $\sigma_1=29,3$ мН/м.

Для изменения коэффициента поверхностного натяжения на границе вода – нефть с целью увеличения эффективности добычи нефти в воду добавляют различные ПАВ, которые при определенных концентрациях могут значительно снижать поверхностное натяжение до 10⁻⁶ Н/м [6]. Правильный подбор ПАВ для условий конкретного месторождения требует проведения трудоемких лабораторных исследований. Где основным является определение условий, при которых обеспечивается достижение сверхнизкого межфазного натяжения.

Механизмы «отмывания» нефти в поровых каналах породы нефтяной залежи при использовании ПАВ до конца не изучены, что предопределяет необходимость дальнейших экспериментальных исследований. По ионной характеристике все ПАВ разделяют на две группы: неионогенные вещества, которые при растворении в воде не диссоциируют на ионы, и ионогенные. В зависимости от того, какие ионы определяют поверхностную активность ионогенных соединений, их принято подразделять на анионные, катионные и амфолитные. Анионные поверхностно-активные вещества более активны в щелочных растворах, катионные в кислых, амфолитные – и в тех и других. Наиболее широкое применение в технологии повышения нефтеотдачи нашли неионогенные ПАВ.

Для изучения влияния различных ПАВ на межфазное натяжение лабораторией СургутНИПИнефть были представлены два вида поверхностно-активных веществ. Нефтенол применяется для приготовления инвертных эмульсий, используемых для повышения нефтеотдачи пластов, в бурении, для ремонта скважин. Полиэкс представляет собой комплексный реагент, включающий эмульгатор и добавку, повышающую стабильность эмульсии. Является термически стабильным вплоть до температуры 90 °С. Для этих двух ПАВ были экспериментально получены температурные зависимости коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ. Экспериментальные данные представлены на рис. 3.

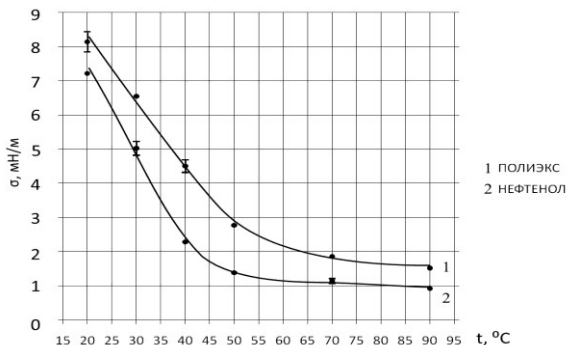


Рисунок 3. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ от температуры (концентрация ПАВ в растворе составляет 0,1 %)

Анализ полученных данных показывает, что при одной и той же концентрации ПАВ в водном растворе при начальной температуре 20 °С значения межфазного натяжения для разных ПАВ получаются различными. С увеличением температуры поверхностное натяжение резко уменьшается, а в температурном интервале от 70 до 90 °С меняется незначительно, при этом различие в величине межфазного натяжения у этих ПАВ сохраняется, что подтверждает результаты работы [4].

На рис. 4 показана зависимость межфазного натяжения при постоянной температуре от концентрации ПАВ в водном растворе.

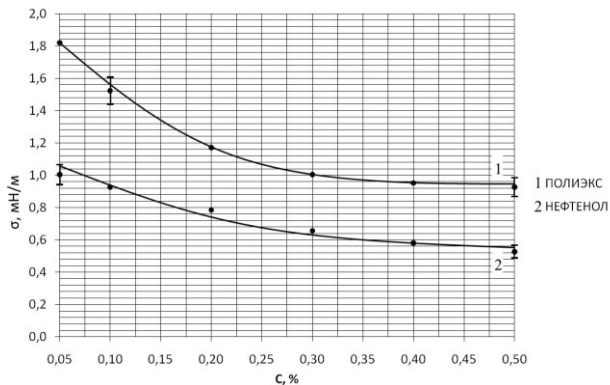


Рисунок 4. Зависимость коэффициента межфазного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ от концентрации ПАВ в водном растворе при температуре 90 °С

Из графиков видно, что поверхностное натяжение на границе раздела фаз водный раствор ПАВ – нефть при температуре 90 °С интенсивно уменьшается уже при небольших значениях концентрации ПАВ. При концентрациях Нефтенола больше 0,5% значение поверхностного натяжения становится меньше чем 1 мН/м. Такой концентрации раствора ПАВ уже достаточно для добычи оставшейся в породе нефти. В результате выполненных исследований по заданию лаборатории НГДУ «Быстринскнефть» было установлено, что для данной нефти максимально эффективно уменьшает поверхностное натяжение при температуре 90 °С (соответствующей температуре в призабойной зоне скважины) ПАВ Нефтенол.

Список литературы:

1. Vonnegut B. Rotating bubble method for the determination of surface and interfacial tensions. // Research and development laboratories, Hartford-Empire Company, Hartford, Connecticut. 1942. V. 13, P. 6-9.
2. Гашумова Л.А., Ненахова Н.А., Заводовский А.Г. Определение коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор ASP методом вращающейся капли // Известия вузов. Сер. Нефть и газ, 2014, № 5. – С. 10-15.
3. Трумбетова З.М., Заводовский А.Г. Исследование коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор ASP для различных ПАВ // Известия вузов. Сер. Нефть и газ, 2016, № 5. – С. 86-90.
4. Заводовский А.Г., Сысоев С.М. Определение коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор ASP // Вестник кибернетики, 2017, № 2. – С. 80-86.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. - М.: Оникс, 2006. - 1056 с.
6. Абрамзон А.А. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества. – Л.: Химия, 1984. – 392 с.

3.2. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР, АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ СИЛИЦИДА ЖЕЛЕЗА α -FeSi₂ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ Si(001) И Si(111)

Тарасов Иван Анатольевич

канд. физ.-мат. наук,
научный сотрудник лаб. ФМЯ, ИФ СО РАН,
РФ, г. Красноярск

Яковлев Иван Александрович

канд. физ.-мат. наук,
научный сотрудник лаб. ФМЯ, ИФ СО РАН,
РФ, г. Красноярск

Рауцкий Михаил Владимирович

мл. науч. сотр. лаб. ФМЯ, ИФ СО РАН,
РФ, г. Красноярск

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, проект №. 18-32-00981.

Аннотация. В настоящей работе сообщается о росте ансамблей нанокристаллов α -FeSi₂ на активированных золотом и не содержащих золота поверхностях Si(100) и Si(111) методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Обсуждается влияние соотношения потоков Si/Fe на образование нанокристаллов α -FeSi₂. Были проанализированы микроструктура и ориентационные соотношения (ОС) между нанокристаллами силицида и кремниевой подложкой. Исследование показывает, что использование золота в качестве катализатора регулирует предпочтительное ОС нанокристаллов с кремнием и их огранку. Предварительные магнитные и электрические измерения показывают, что металлические нанокристаллы α -FeSi₂ с разными значениями OR имеют разные магнитные моменты и энергию барьера Шоттки перехода металл-полупроводники. Вольтамперная характеристика гетероструктур α /Si показывает хорошую линейность в широкой области температур.

Ключевые слова: кремний; силицид железа; преимущественная ориентация; нанокристаллы; эндотаксия.

Наноструктуры на основе силицидов железа имеют широкий спектр возможных применений в различных областях электроники [1-8]. Интерес к этим материалам вызван их экологической безопасностью и широким распространением в земной коре. Силициды железа FeSi_2 , богатые кремнием, имеют не менее яркие возможности применения. Полупроводниковая фаза $\beta\text{-FeSi}_2$ может использоваться как активный материал в фотонных кристаллах, а также для фотовольтаики, термоэлектричества. Благодаря возможному прямому переходу с энергией, близкой к 0,87 эВ, данный материал может быть использован в качестве активного материала в светоизлучающих диодах инфракрасного диапазона [9]. Сообщается, что металлический $\alpha\text{-FeSi}_2$ применяется в качестве материала электрода к кремнию или $\beta\text{-FeSi}_2$ с хорошими омическими характеристиками [10]. Эта фаза может также использоваться для формирования барьерных контактов Шоттки, локальных межсоединений и диффузионных барьеров.

Фаза $\alpha\text{-FeSi}_2$ относится к тетрагональной кристаллической системе (P4mm) с параметрами решетки $a, b = 2,684 \text{ \AA}$, $c = 5,128 \text{ \AA}$ [10], где атомы Fe образуют квазидвумерную структуру и расположены в плоскостях $\alpha\{001\}$ разделенных двумя плоскостями, образованными атомами кремния. Парамагнитная и метастабильная в объемных условиях фаза $\alpha\text{-FeSi}_2$ в наномасштабе, как сообщается, может демонстрировать ферромагнитные свойства с намагниченностью выше чем чистое железо. Наряду с этим считается, что такие квазидвумерные соединения, как $\alpha\text{-FeSi}_2$, могут обнаруживать высокотемпературную сверхпроводимость.

Для того, чтобы вызвать изменения в процессе формирования и, как следствие, в физических свойствах, использовались изменение потока Si / Fe и поверхности кремния без золота или активированной золотом поверхности кремния. Нанокристаллы $\alpha\text{-FeSi}_2$ были сформированы на вицинальной поверхности подложек кремния p-Si(100) и Si(111) с разориентацией от базовой плоскости равной 1° ($\rho \sim 5\text{-}10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) при 840°C методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) в условиях сверхвысокого вакуума. Перед синтезом подложка Si была химически очищена. Чтобы получить атомно-чистую поверхность кремния, пластина подвергалась температурной обработке при $850\text{-}900^\circ\text{C}$ до тех пор, пока на картине дифракции отраженных быстрых электронов не появилась хорошо упорядоченная подложках (2×1) или (7×7). После охлаждения образца до комнатной температуры слой Au с различной номинальной толщиной (0-50 нм) осаждался из эффузионной ячейки Кнудсена на поверхность подложки со скоростью 0,25 нм/мин. Затем

для выращивания нанокристаллов α -FeSi₂ температуру подложки увеличивали до 840 °С, и Fe и Si наносились одновременно с различным соотношением состава Si / Fe в диапазоне 0 - 2.

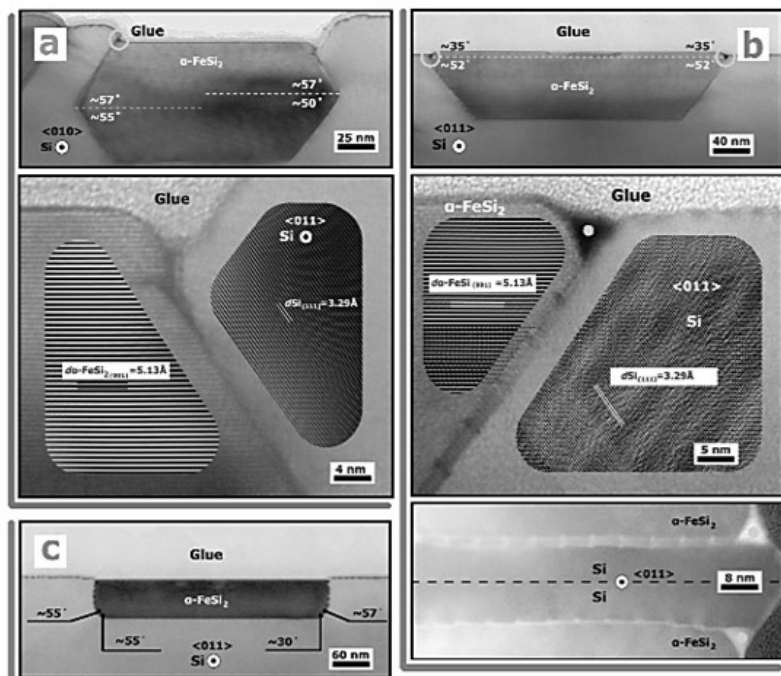


Рисунок 1. Изображения ПЭМ нанокристаллов $\alpha(001)/Si(001)$ с различной огранкой

В результате примененные методики привели к разнообразию физических свойств полученных нанокристаллических ансамблей α -FeSi₂. Было показано, что увеличение количества железа в осаждаемом потоке приводит к образованию большей доли эндотаксильных нанокристаллов α -FeSi₂(001) с огранкой плоскостями $\alpha(001)$ и $\alpha(11n)$, активированной золотом (рис. 1). В отсутствие катализатора предпочтительной ориентацией является $\alpha(111)/Si(001)$. При изменении преимущественной кристаллографической ориентации и напряжений кристаллической решетки нанокристаллов α -FeSi₂, вызванных несоответствием между кристаллическими решетками силицида α -FeSi₂ и кремния, возможно контролируемое увеличение намагниченности системы (рис. 2). Кроме того, нанокристаллы α -FeSi₂ можно использовать в качестве омического

контакта с кремнием, где нижний предел температуры омического контакта можно варьировать путем изменения преимущественной ориентации нанокристаллов α -FeSi₂ на кремнии. Эффект достигается за счет изменения высоты барьера Шоттки, образованного на границе раздела силицид / кремний.

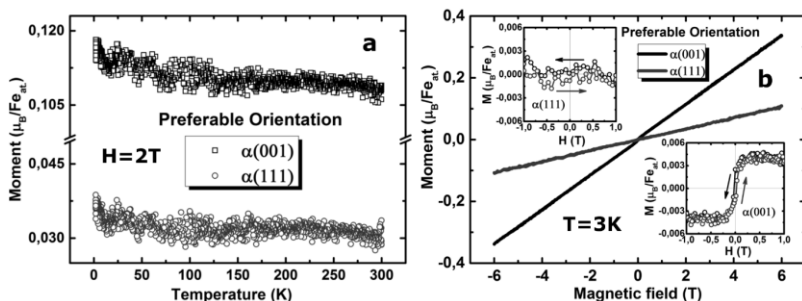


Рисунок 2. а) Температурная зависимость магнитного момента в образцах с преимущественными ориентациями на $\alpha(001)$ и на $\alpha(111)$; б) полевые зависимости для указанных образцов

В заключение отметим некоторые результаты, на которые стоит обратить внимание. В работе была показана возможность преобразования парамагнитной фазы α -FeSi₂ в ферромагнитное состояние. Деформация решетки, вызванная специфическим эпитаксиальным соотношением с подложкой приводит к появлению магнитного момента в диапазоне от 0,1 до 0,2 μ_B/Fe_{at} . Было также показано, что изменение атомного расположения интерфейсного слоя α -FeSi₂/Si изменяет высоту барьера Шоттки. Таким образом, эта работа демонстрирует возможность контролируемого изменения физических свойств богатых кремнием силицидов железа для достижения желаемого отклика на приложенные силы.

Список литературы:

1. I.A. Tarasov, Z.I. Popov, S.N. Varnakov, M.S. Molokeev, A.S. Fedorov, I.A. Yakovlev, et al., Optical characteristics of an epitaxial Fe₃Si/Si(111) iron silicide film, JETP Lett. 99 (2014) 565–569. doi:10.1134/S0021364014100105.
2. S.G. Ovchinnikov, S.N. Varnakov, S.A. Lyashchenko, I.A. Tarasov, I.A. Yakovlev, E.A. Popov, et al., Iron silicide-based ferromagnetic metal/semiconductor nanostructures, Phys. Solid State. 58 (2016) 2277–2281. doi:10.1134/S1063783416110299.

3. I.A. Yakovlev, I.A. Tarasov, S.A. Lyashchenko, High uniaxial magnetic anisotropy of the $\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x$ films synthesized by MBE, *J. Magn. Magn. Mater.* (2016) 0–1. doi:10.1016/j.jmmm.2016.12.051.
4. H. Tokushige, T. Endo, K. Hiidome, K. Saiki, S. Kitamura, T. Katsuyama, et al., Photonic crystals composed of $\beta\text{-FeSi}_2$ with amorphous Si cladding layers, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54 (2015) 07JB03. doi:10.7567/JJAP.54.07JB03.
5. Z. Liu, S. Wang, N. Otagawa, Y. Suzuki, M. Osamura, Y. Fukuzawa, et al., A thin-film solar cell of high-quality $\beta\text{-FeSi}/\text{Si}$ heterojunction prepared by sputtering, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* 90 (2006) 276–282. doi:10.1016/j.solmat.2005.03.014.
6. Y. Gao, H.W. Liu, Y. Lin, G. Shao, Computational design of high efficiency FeSi_2 thin-film solar cells, *Thin Solid Films.* 519 (2011) 8490–8495. doi:10.1016/j.tsf.2011.05.030.
7. M. Mohebbi, Y. Liu, L. Tayebi, J.S. Krasinski, D. Vashaee, Thermoelectric figure of merit of bulk $\text{FeSi}_2\text{-Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ nanocomposite and a comparison with $\beta\text{-FeSi}_2$, *Renew. Energy.* 74 (2015) 940–947. doi:10.1016/j.renene.2014.08.059.
8. W. Li, C. Wen, M. Yamashita, T. Nonomura, Y. Hayakawa, H. Tatsuoka, Effect of Cu or Co addition on $\beta\text{-FeSi}_2$ growth by molten salt method, *J. Cryst. Growth.* 340 (2012) 51–55. doi:10.1016/j.jcrysgro.2011.11.059.
9. D. Leong, M. Harry, K.J. Reeson, and K.P. Homewood, *Nature* 387, 686 (1997).
10. I.A. Tarasov, I.A. Yakovlev, M.S. Molokeevev, M. Rautskii, I.V. Nemtsev, S.N. Varnakov, and S.G. Ovchinnikov, *Mater. Lett.* 168, 90 (2016).

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XXII международной
научно-практической конференции*

№ 3 (22)
Март 2019 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 14.03.19. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 2,125. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
125009, Москва, Георгиевский пер. 1, стр.1, оф. 5
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru