



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY



ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ- 2017

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
“ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ 2017”
ПОСВЯЩЕННОЙ ГОДУ ЭКОЛОГИИ В РФ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

17-21 АПРЕЛЯ 2017 Г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»**

Проспект Свободный - 2017

Материалы научной конференции
посвященной Году экологии в Российской Федерации
17-21 апреля 2017 г.

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2017 г.

**Технологии транспортировки, переработки
и хранения жидких и газообразных углеводородов.
Экологическая и пожарная безопасность**

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ УГЛЕЙ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПЕКОПОДОБНЫХ ПРОДУКТОВ

Ловцевич О.В.¹

Научный руководитель д-р хим. наук Кузнецов П.Н.²,

канд. хим. наук Обухова А.В.^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет

²ИХХТ СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Использование углей в России в крупных нетопливных масштабах в основном представлено процессом коксования для получения металлургического кокса [1]. Образующаяся в качестве побочного продукта каменноугольная смола является сырьем для производства каменноугольного пека. Благоприятное сочетание высокой коксующей способности и низкой вязкости в расплавленном состоянии во многом обуславливает хорошие физико-механические свойства получаемых на его основе углеродных материалов, которые используются в цветной и черной металлургии, в электродной промышленности и др. [1].

В связи с модернизацией производства черной металлургии потребность в коксе постепенно уменьшается, что влечет за собой спад производства каменноугольного пека. В то же время, потребность в пеке и требования к его качеству непрерывно растут [1].

Одним из альтернативных способов переработки углей с получением пековых продуктов является термическое растворение углей в среде растворителей, что является возможным в связи с присутствием полициклических ароматических фрагментов в органической массе углей. Данный метод сравнительно прост с технологической точки зрения и может обеспечивать достаточный выход пека [2].

Сущность метода термического растворения заключается в воздействии на твердое горючее ископаемое органических растворителей при повышенной температуре. Механизм процесса включает набухание угольных зерен и пептизацию мицелярной структуры, последующий разрыв мостиковых связей в высокомолекулярных фрагментах и растворение низкомолекулярных фрагментов с их стабилизацией. Глубина растворения зависит от природы растворяемого твердого горючего ископаемого, условий процесса, состава и свойств растворителя-пастообразователя [2-5].

В данной работе изучено влияние способов гидрооблагораживания тяжелой смолы полукоксования каменного угля на ее состав и свойства с целью применения в качестве растворителя в процессе терморастворения угля.

При проведении процесса использовали газовый жирный уголь. В качестве растворителя использовали антраценовую фракцию смолы коксования (АФСК), тяжелую смолу полукоксования (ТСПК) и гидрооблагороженную ТСПК.

Опыты по термическому растворению угля и каталитическому гидрооблагораживанию тяжелой смолы полукоксования проводили на экспериментальной установке, оборудованной автоклавом объемом 2 дм³ с механической мешалкой.

Для проведения процесса терморастворения угля готовили углемасляную пасту в соотношении уголь: растворитель 1 : 2. Процесс проводили без применения водорода и катализаторов при автогенном давлении, создаваемом парами растворителя и газообразными продуктами. После окончания реакции, образовавшиеся газы дросселировали в газосборник, а содержимое автоклава в расплавленном виде выгружали в обогреваемый отстойник. После отстаивания, охлаждения и отделения донной зольной части получали твердый при комнатной температуре пекосодержащий продукт.

При исследовании показателей термического растворения угля, установлено, что содержание веществ, нерастворимых в хинолине для пекосодержащих экстрактов, полученных при терморастворении в АФСК, составляет 6.8% (табл. 1). При проведении процесса в среде исходной (необлагороженной) ТСПК получен продукт, который состоял на 70 % из нерастворимых в хинолине веществ, в то время как в исходной углемасляной пасте до реакции их доля составляла всего 30 %. Таким образом, в исходном сыром виде смола не пригодна в качестве растворителя для данного процесса. В ходе реакции она в значительной степени подвергалась поликонденсации с веществами органической массы угля с образованием нерастворимых веществ.

С целью улучшения свойств ТСПК ее подвергали гидрооблагораживанию. Гидрооблагораживание смолы ТСПК осуществляли двумя способами: путем каталитической гидрогенизационной обработки водородом при давлении 5 МПа и путем обработки ТСПК в смеси с водородо-донорными растворителями (антраценовой фракцией). В процессе каталитического гидрогенизационного облагораживания использовали промышленный алюмокобальт-молибденовый катализатор гидроочистки. Процесс облагораживания осуществляли при 400 °С, за начало реакции принимали момент достижения заданной температуры.

Установлено, что каталитическая гидрогенизационная обработка смолы с применением водорода при давлении 5 МПа и совместная термическая обработка с

антраценовой фракцией смолы коксования каменных углей приводит к уменьшению концентрации кислородсодержащих соединений и позволяет значительно улучшить характеристики пекосодержащих экстрактов. При проведении термического растворения угля в среде гидрооблагороженной смолы процессы поликонденсации протекали в значительно меньшей степени: при температуре 380°C доля хиолиннерастворимых веществ в пекоподобном продукте составляла 33,8%.

Таблица 1 - Показатели терморастворения угля ГЖ в растворителях. Соотношение уголь: растворитель = 1:2, время реакции 1 ч

Растворитель	Температура реакции, °С	Содержание нерастворимых веществ, масс. %	
		в толуоле	в хиолине
(ТСПК:АФСК)			
АФСК	380	27.0	6.8
ТСПК	380	-	70
1:0*	380	50.8	33.8
1:1	380	30.9	3.0

*гидрированная СПК с Al-Co-Mo катализатором

В табл. 2 приведены характеристики состава полученных пековых продуктов терморастворения. По данным элементного анализа, пекоподобные экстракты, полученные при терморастворении в ТСПК, имел повышенную концентрацию водорода (7,5%), кислорода и меньше углерода и серы, чем экстракт, полученный в среде АФСК.

Таблица 2 - Состав пекосодержащих экстрактов, полученных при терморастворении угля ГЖ в бикомпонентной смеси антраценовой фракции (АФС) со смолой полукоксования (СПК). Соотношение уголь : растворитель = 1 : 2, время реакции 1 ч

Растворитель (АФСК:ТСПК)	Температура процесса, °С	Зольность пека, мас. %	Состав пека, Засс. %					Температура размягчения пека, °С
			С	Н	N	S	O	
1:0	380	0.25	90.0	5.5	1.4	0.8	2.3	76
ТСПК (гидрированная)	380	0.90	85.0	7.5	1.4	0.3	5.8	104
1:1	380	0.45	88.4	6.3	1.3	0.3	3.8	138

Температура размягчения экстракта также зависела от условий получения и варьировала от 76 °С до 138 °С, что может быть связано с особенностью его группового и молекулярного состава. Наиболее низкую температуру размягчения (76 °С) имел пековый

продукт, полученный при терморазложении угля в среде АФС. Более высокие температуры размягчения для пекоподобных экстрактов, полученных в растворителях, содержащих ТСПК, по-видимому, обусловлены повышенной концентрацией кислородсодержащих соединений.

В результате проделанной работы были получены экспериментальные данные по влиянию гидрооблагораживания тяжелой смолы полукоксования длиннопламенного каменного угля (завод полукоксования в г. Ленинск-Кузнецкий) на ее состав и эффективность при применении в качестве растворителя в процессе терморазложения газового жирного каменного угля. Установлено, что каталитическая обработка смолы водородом при невысоком давлении 5 МПа и обработка в смеси с активными водорододонорными соединениями приводит к частичной деоксигенации смолы и некоторому увеличению содержания водорода.

Показана эффективность применения тяжелой смолы полукоксования в смеси с антраценовой фракцией коксования в качестве растворителя в процессе терморазложения каменного угля с получением пекоподобных продуктов с повышенными температурами размягчения (от 104 до 135 °С).

Список использованных источников

1. П.Н. Кузнецов, Е.Н. Маракучина, Ф.А. Бурюкин, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. №24. С.325-333

2. Andresen John M., Burgess Caroline E., Pappano Peter J. and Schobert Harold H. // Fuel Proc. Technol. 2004. Vol. 85.P. 1373-1392

3. Гагарин С.Г., Кирилина Т.А., Кричко А.А. и др. Установление взаимосвязи показателей жидкофазной гидрогенизации и структурных параметров // Химия твердого топлива.- ХТТ.- 1984.- №6.- С.76-83.

4. Кричко И.Б., Хренкова Т.М. Структурно-химические характеристики бурых углей Итатского месторождения и влияние их на показатели процесса ожижения // Химия твердого топлива.- 1987. - №3.- С.93- 99.

5. Гагарин С.Г., Лесникова Е.Б., Григорьева Е.А. и др. Взаимосвязь между составом, структурно-химическими характеристиками бурых углей Кангаласского месторождения и показателями процесса гидрогенизации. // Химия твердого топлива.-1992.- №2.- С.58-68.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОТНЫХ И КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО
ВОЛЬФРАМАТ-АНИОНАМИ**

Головин Е.А.¹, Кузнецова Л.И.²

Научные руководители д-р хим. наук Кузнецов П.Н.², канд. хим. наук Обухова А.В.^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет

²Институт химии и химической технологии СО РАН – обособленное подразделение

ФИЦ КНЦ СО РАН

Каталитические системы, модифицированные вольфрамат-анионами, представляют значительный интерес для нового процесса изомеризации, в котором в сырье можно вовлекать гептановую фракцию, выделяя ее из состава сырья риформинга, так как именно гептановая фракция выступает основным бензолобразующим компонентом [1]. С другой стороны, переработка алканов гептановой фракции (с очень низкими октановыми числами) в процессе изомеризации позволит получать высокооктановый компонент смешения. При компаундировании его с продуктом риформинга можно производить высокосортные высокооктановые автобензины с низким содержанием бензола.

Кроме того, создание катализаторов для изомеризации цепных алканов дизельных фракций представляет также большой интерес для получения компонентов дизельных топлив с низкими температурами помутнения и замерзания и сравнительно высокими цетановыми числами.

В настоящее время высокооктановые изокомпоненты при производстве высокосортных автобензинов получают путем изомеризации легких бензиновых фракций на платиносодержащих катализаторах на основе цеолитов, хлорированного оксида алюминия и сульфатированного диоксида циркония. Общий недостаток этих катализаторов состоит в том, что они эффективны лишь при изомеризации узкой фракции алканов C_5 - C_6 и не позволяют осуществлять селективную изомеризацию алканов с более длинной углеводородной цепью (с наиболее низкими октановыми числами) вследствие интенсификации реакции крекинга.

Несмотря на значительное число опубликованных работ, факторы и природа действия анионных добавок на кислотные и каталитические свойства систем на основе диоксида циркония до конца не установлены и остаются предметом активной дискуссии[2].

Целью работы является исследование кислотных и каталитических свойств систем на основе диоксида циркония, модифицированного вольфрамат-анионами.

Гидроксид циркония получали путем осаждения из раствора хлористого цирконила раствором аммиака при постоянной величине pH. Подробная методика приготовления образцов представлена в работе [3]. Содержание вольфрамат-анионов варьировали от 5,9 до 21,9 моль.%. Содержание платины в готовых образцах составляло 0,5 мас.%.

Содержание вольфрама контролировали методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РСФА). Анализ проводили на спектрофотометре SRS-303 с использованием соответствующих калибровок и с применением интерактивного программного обеспечения "SPECTRA-3000".

ИК-спектры снимали на Фурье спектрометре Shimadzu 8300 и на ИК-Фурье спектрометре "Vector 22" фирмы Bruker с разрешением 4 см^{-1} и числом накоплений спектров 50 с обработкой в программном продукте ORIGIN 7.0 и OPUS-3, версия 2.2. Интенсивность полос в спектрах нормировали на плотность таблеток, измеренную в г/см^3 . Концентрацию кислотных центров (мкмоль/г) измеряли из интенсивности полос адсорбированного СО. Силу центров характеризовали положением максимума $\nu(\text{CO})$.

Силу БКЦ определяли в единицах шкалы сродства к протону (РА, кДж/моль) из величин смещения полос ОН групп, наблюдающихся при адсорбции СО при давлении 1332 Па и температуре 77К, по методике [4].

Измерения активности катализаторов в реакции изомеризации n-гептана проводили на каталитической установке VI-CATflow4-2(A) проточного типа с трубчатым реактором. Испытание каталитической активности проводили на фракции 0,25-1 мм. Для приготовления фракции порошок катализатора таблетировали, после чего таблетку измельчали и на ситах отбирали необходимую фракцию. Анализ состава продуктов осуществляли на встроенном в установку хроматографе с капиллярной сорбционной колонкой.

По ИК-спектрам адсорбированного оксида углерода установлено, что как Льюисовская кислотность (ЛКЦ), так и Бренстедовская кислотность (БКЦ) определяются содержанием вольфрамат-анионов. При низком содержании (5,9 моль.%) присутствуют преимущественно слабые БКЦ и ЛКЦ, которые обнаруживаются по полосам поглощения СО при $2168\text{-}2170 \text{ см}^{-1}$ и $2187\text{-}2192 \text{ см}^{-1}$, соответственно. С увеличением концентрации WO_4^{2-} формируются средние и сильные БКЦ и ЛКЦ.

Полученные вольфрамированные катализаторы характеризуются преимущественно Льюисовской кислотностью: концентрация ЛКЦ в них в 3-6 раз больше, чем БКЦ. При содержании анионов 17,6 моль.% формируются наибольшее количество сильных БКЦ, характеризуемых величиной сродства к протону (РА) 1260 кДж/моль. Количество средних и

сильных ЛКЦ практически не зависит от содержания вольфрамат-анионов за исключением образца с содержанием WO_4^{2-} 5,9 моль.%. При этом образцы, содержащие 12,9-17,6 % WO_4^{2-} , отличаются большей долей сильных ЛКЦ (4-5 %, против 1-2 % для образцов с большим и меньшим содержанием WO_4^{2-}).

На основе ранее проведенных исследований [3] и данных полученных методом ИК-спектроскопии, включая ИК-спектры адсорбированной молекулы CO, и с учетом имеющихся в литературе сведений можно предположить, что кислотные свойства вольфрамированных катализаторов $\text{Pt}/\text{WO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ обусловлены образующимися на поверхности катализатора поверхностными вольфраматными кластерами, которые можно условно представить в виде $(-\text{WO}_x)_n$. Бренстедовские кислотные центры могут образовываться в результате частичного гидролиза терминальных связей $\text{W}=\text{O}$ с образованием гидроксильных групп. Льюисовская кислотность связана с координационно ненасыщенными катионами Zr^{4+} . Увеличение их силы может быть вызвано влиянием соседних электроотрицательных катионов W^{6+} (и/или W^{5+}).

Сравнение показателей каталитической активности различных образцов $\text{Pt}/\text{WO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ проводили при температуре 170 °С, объемной скорости подачи н-гептана 1 ч⁻¹. В составе продуктов присутствовали 2,3- и 2,4-диметилпентаны, 2,2,3-триметилбутан, 3-этилпентан, 2- и 3-метилгексаны. Продукты крекинга представлены пропаном, изобутаном, н-бутаном.

Показано, что зависимость степени превращения н-гептана от содержания вольфрамат-анионов имеет экстремальный характер. Максимальная конверсия 71,3 % с селективностью 90,0 % достигается при содержании 17,6 моль.% вольфрамат-анионов.

Выявленные особенности каталитического действия анион-модифицированных форм диоксида циркония при изомеризации н-гептана обусловлены их кислотными свойствами.

Для сравнения была проведена серия опытов на используемом для изомеризации пентан-гексановой фракции сульфатированном диоксиде циркония. Сульфатированный катализатор, активно применяемый в промышленности в настоящее время, по сравнению с вольфрамированным, содержит значительно более высокие концентрации ЛКЦ и БКЦ, при большей силе БКЦ (таблица 1).

Таблица 1 – Сопоставление кислотных и каталитических свойств вольфрамированного и сульфатированного катализаторов в реакции изомеризации н-гептана

Катализатор	Кислотность		РА,кДж/моль	Изомеризующая активность, %	
	мкмоль/г			н-гептан (170°С, 1 час ⁻¹)	
	ЛКЦ	БКЦ	выход изо-С ₇	селективность	
$\text{Pt}/\text{WO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$	160	60	1260	64,6	90,0

Pt/SO ₄ ²⁻ /ZrO ₂	230	80	1220	14,0	20,3
--	-----	----	------	------	------

Таким образом, присутствие сильных кислотных центров в сульфатированном катализаторе приводит к тому, что образующиеся изомеризованные молекулы далее с участием сильных кислотных центров подвергаются карбений-ионному крекингу. На вольфрамированном катализаторе с более слабыми кислотными центрами реакции крекинга не получают существенного развития, в результате, процесс ограничивается стадией разветвления углеводородного скелета.

Список использованных источников

1. Кузнецов П.Н., Кузнецова Л.И., Казбанова А.В., Мельчаков Д.А., Довженко Н.Н. Новые катализаторы на основе диоксида циркония для изомеризации алканов нефтяных фракций. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2011, 4, 438–452.
2. Кузнецов П.Н., Кузнецова Л.И., Казбанова А.В. Каталитическая изомеризация алканов на анионмодифицированных формах диоксида циркония. *Химия в интересах устойчивого развития*, 2010, 18(3), 299–311.
3. Kuznetsov P.N., Kazbanova A.V., Kuznetsova L.I., Kovalchuk V.I., Mikhlin Yu.L. Bulk and surface characterization and isomerization activity of Pt/WO₄²⁻/ZrO₂ catalysts of different preparations. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*., 2014, 113, 69–84.
4. Паукштис, Е.А. Инфракрасная спектроскопия для гетерогенного кислотно-основного катализа. Новосибирск: Наука, 1992. 255 с. [Paukshtis E.A. *Infrared spectroscopy in heterogeneous acid-base catalysis*. Novosibirsk, Nauka, 1992, 255 p. (in Russian)]

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ И АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Пачковский В.И.

Научные руководители д-р техн. наук Безбородов Ю.Н.,

канд. техн. наук Сокольников А.Н.

Сибирский федеральный университет

Разработка систем по обнаружению несанкционированных врезок в магистральном трубопроводе остается актуальной задачей. И это неслучайно, так как в самых различных отраслях промышленности в настоящее время используется огромное количество трубопроводов, как наземных, так и подземных, длина которых достигает нескольких тысяч километров, в ходе этого доступ к ним чаще всего затруднен. Как известно, при эксплуатации трубопровода в нем зарождаются различные дефекты: утончения стенки, трещины, сквозные дефекты. Так же, с каждым годом увеличивается количество случаев несанкционированного подключения к нефтепроводам, к тому же если раньше было проще отследить врезку по изменению давления или при патрулировании, то сегодня для осуществления незаконных врезок используют новейшие технологии, которые затрудняют обнаружение несанкционированного вмешательства. По оценкам экспертов, ежегодно в России похищают свыше 5 миллионов тонн нефти, а ущерб оценивается примерно в 800 миллионов долларов. И это только прямые потери, не считая восстановительных работ и экологического ущерба. По данным ПАО «Транснефть», всего в период с 2003 по 2012г. в России было выявлено 4779 несанкционированных врезок в магистральные нефтепроводы. На рисунке 1 отображено количество врезок по регионам России с 2003-2012 год [1].

Самыми неблагополучными регионами с точки зрения незаконных врезок в трубопроводы являются Самарская область, республика Дагестан, а также Иркутская и Ленинградская области, на которые приходится 50% всех несанкционированных заборов нефти. Поэтому существует необходимость на стадии проектирования или реконструкции задуматься о безопасности трубопроводов [1].

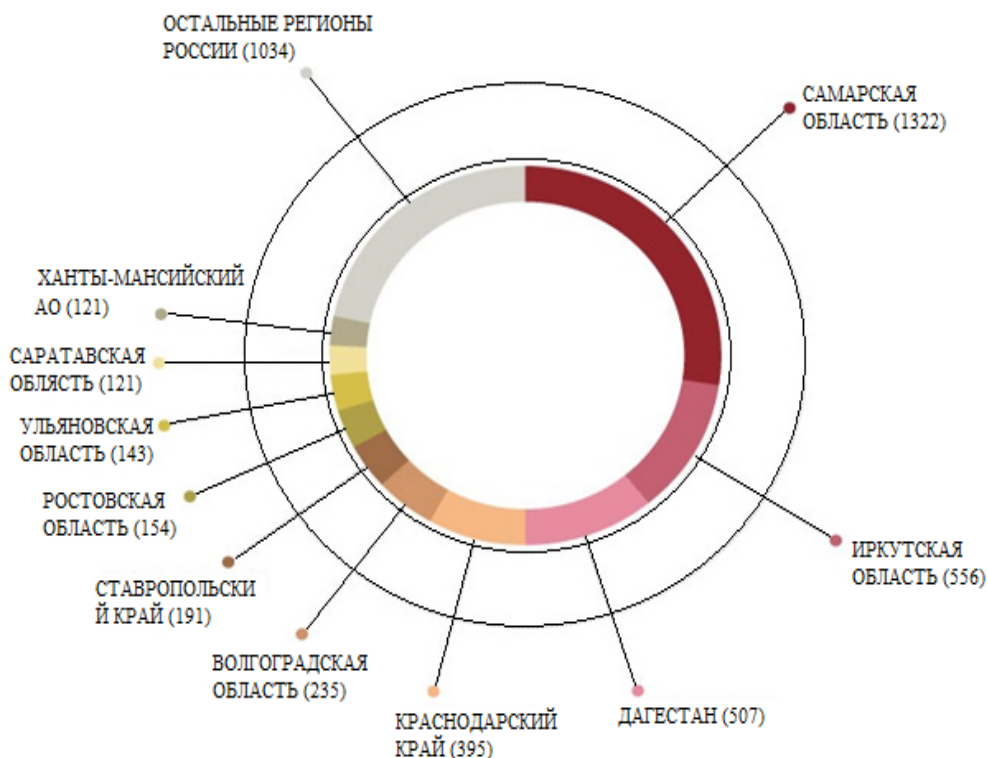


Рис. 1- Количество врезок по регионам России в 2003-2012 г

На текущий момент все методы обнаружения утечек и несанкционированных врезок чаще всего подразделяют на две категории [3]:

- методы постоянного контроля;
- методы периодического контроля.

К методам постоянного контроля относят:

- метод сравнения расходов;
- метод понижения давления с фиксированной или скользящей установкой;
- метод линейного баланса;
- метод акустической эмиссии;
- метод сравнения изменения скорости расходов;
- метод отрицательных ударных волн;
- метод ударных волн Жуковского;

К методам периодического контроля относят:

- визуальный метод;
- ультразвуковой метод;
- лазерный газоаналитический метод;
- метод анализа статического давления;
- магнитный метод контроля;

- комбинированный электромагнитный метод;
- беспилотный метод.

Существует множество способов по обнаружению проблемных мест в трубопроводе, но, как мы знаем, кража нефтепродуктов не прекратилась. Все потому, что на сегодняшний день не существует метода, который бы отвечал четырем основным параметрам – бесперебойность, экономичность, точность, надежность.

Проводя анализ существующих способов по обнаружению проблемных участков, мы разработали методы по выявлению утечек на магистральном трубопроводе: Первый метод нашего исследования -акустический, в основе его лежит улавливание колебаний ультразвуковых волн, образующихся при отборе нефтепродукта (рисунок 2). Как нам известно, при аварии или несанкционированном вмешательстве в магистральную сеть трубопровода идет потеря давления и гидравлический удар, который сопровождается акустическим шумом, иначе говоря, идет образования кавитации. Кавитация — процесс парообразования и последующего схлопывания пузырьков пара с одновременным конденсированием пара в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами.

Исходя из этой информации мы можем утверждать, что при утечке углеводородов в результате хищения или аварии может образовываться кавитация, которую в свою очередь мы можем зафиксировать с помощью акустических приборов. Как известно кавитация сопровождается ультразвуком. Ультразвук – звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, под ультразвуком понимают частоты выше 20 000 герц. Важной задачей данной работы определить частоту акустического шума, при котором работает врезка, помимо этого нужно будет учесть затухание акустической волны в трубопроводе при конкретных условиях [4], [5].

Так же при несанкционированном подключении можно наблюдать колебание электромагнитных волн, а именно сонолюминисценцию. Сонолюминисценция – свечение в кавитирующей жидкости в диапазоне от видимого света до рентгеновского излучения. Предполагается, что генерация рентгеновского излучения связана со схлопыванием пузырьков в жидкости. На данный момент в качестве основной причины сонолюминисценции рассматривается электризация жидкости при кавитации.

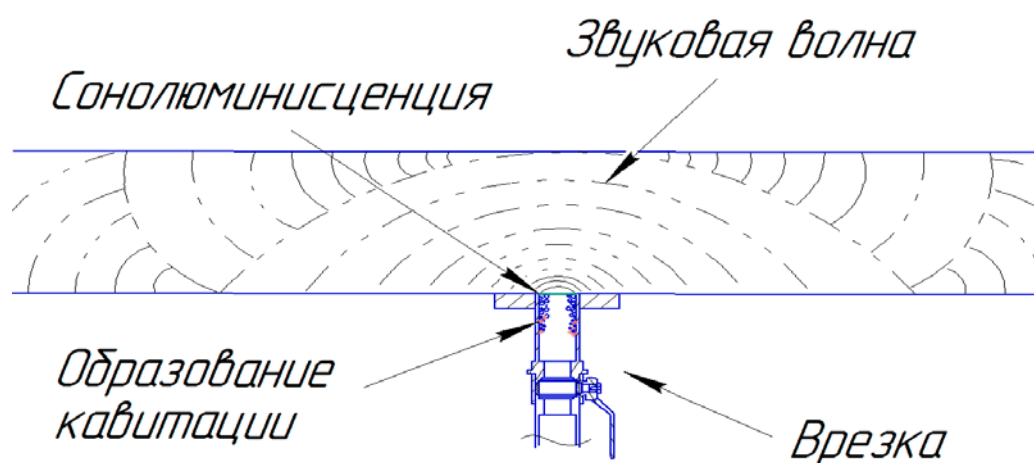


Рис. 2 - Метод акустического контроля

Электризация жидкости заключается в образовании некомпенсированных зарядов на границе межфазного раздела в кавитирующей жидкости [5].

Второй способ по обнаружению несанкционированных врезок электромагнитный, главной его задачей является обнаружение отводов от магистральной части с помощью георадаров. Суть работы заключается в том, что на беспилотный летающий агрегат (БПЛА), будет монтироваться георадар «ОКО-2». Георадар «ОКО-2» - это новая серия скоростных, высокопроизводительных георадаров, позволяющая проводить зондирование, как под землей, так и под водой. С помощью данного оборудования можно определить отводы на глубине до 30 метров. Принцип работы следующий, БПЛА перемещается вдоль изучаемой местности, в исследуемую среду излучается электромагнитный импульс, который отражается от раздела сред или включения, отражённый сигнал принимается и записывается прибором, полученный результат отображается на экран компьютера. Эксперимент по обнаружению отводов показан на рисунке 3 [2].

В ходе выполнения данной работы был представлен обзор существующих в настоящее время методов обнаружения утечек нефтепродуктов из магистрального трубопровода в результате несанкционированных врезок или аварии. Так же были предложены новые методы обнаружения незаконных врезок при помощи электромагнитных и акустических сигналов, и способы реализации на магистральном трубопроводе.

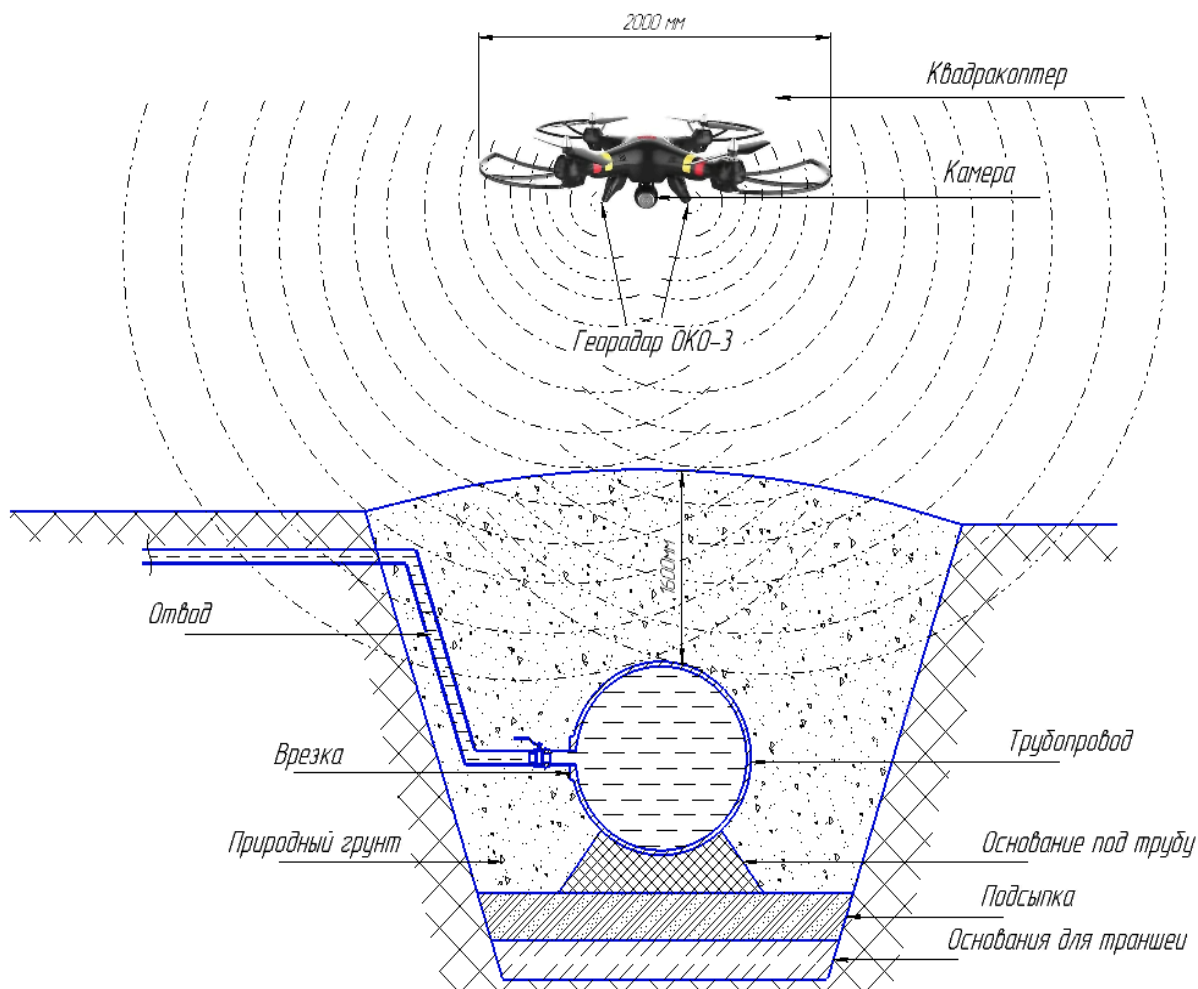


Рис. 3 - Эксперимент по обнаружению отводов

Список использованных источников

1. Публичное акционерное общество «Транснефть» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.transneft.ru>. (Дата обращения: 18.02.2017).
2. Георадар «ОКО-2» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geotech.ru/market/katalog_oborudovaniya/georadar_oko. (Дата обращения: 18.02.2017).
3. Гольянов А.А. Анализ методов обнаружения утечек на нефтепроводах // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2002. № 10. С. 5-14.
4. Кирсанов В. И. Об истечении жидкости через жиклеры при больших перепадах давления. Оборонгиз, 1951.
5. Арзуманов Э. С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. – М.: Энергия, 1978. – 304 с.