

ЭКСТАКЦИЯ БЕНЗОЛА ИЗ ПИРОЛИЗНОГО ДИСТИЛЛЯТА
ПРОИЗВОДСТВА СП ООО «UZ-KOR GAS CHEMICAL» НА СМЕШАННОМ
ЭКСТРАГЕНТЕ ДМСО+ДЭГ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7512760>



ELSEVIER

Л.Р.Жўраева

Бухарский инженерно технологический институт, кафедра "Химия",
г.Бухара, jorayeva_09.09.76@mail.ru

О.Ш.Кодиров

Национальный университет Узбекистана, кафедра «Общая и нефть-газовая
химия», г.Ташкент, oqsh@bk.ru



Received: 05-01-2023
Accepted: 07-01-2023
Published: 22-01-2023

Abstract:

Keywords:

About: FARS Publishers has been established with the aim of spreading quality scientific information to the research community throughout the universe. Open Access process eliminates the barriers associated with the older publication models, thus matching up with the rapidity of the twenty-first century.

Бензол – важнейшее сырье нефтехимической промышленности, на основе которого производят крупнотоннажные продукты органического синтеза. По данным Росстата, объем производства бензола (в том числе из продуктов пиролиза, нефтяного) составил 1200 тыс. тонн. По прогнозам экспертов Агентства Промышленной Информации, мировой спрос на бензол будет расти в среднем на 5,2 % в год и составит года 41 млн. тонн. Наиболее быстрый рост будет наблюдаться в Азии (за исключением Японии) - в среднем на 7,5 % в год, - а также в других регионах мира - 13,6 % (главным образом на Ближнем Востоке и в Южной Америке). Основной прирост объемов производства бензола произойдет за счет введения новых мощностей, а также за счет увеличения производства пиролизного бензола [1].

Потребление бензола являющихся сырьем для производства циклогексана, линейных алкилбензолов и др., неуклонно возрастает. Значительную часть получаемого бензола используют для синтеза других продуктов:

- около 50 % бензола превращают в этилбензол (алкилирование бензола этиленом);
- около 25% бензола превращают в кумол (алкилирование бензола пропиленом);
- приблизительно 10 – 15% бензола гидрируют в циклогексан;
- около 10% бензола расходуют на производство нитробензола;
- 2 – 3% бензола превращают в линейные алкилбензолы;
- приблизительно 1% бензола используется для синтеза хлорбензола [3].

В Республике Узбекистан наличие и расширение пиролизных производств дает возможность производить пиролизного бензола пиролизом газоконденсата и каталитическим риформингом нефти продуктов с последующим экстракционным разделением катализаторов и пирооконденсатов селективными растворителями [2].

На сегодняшний день все еще не найдены экстрагенты универсального типа, сочетающие высокую селективность разделения с достаточно большой растворяющей способностью и полностью отвечающие требованиям современной технологии. Поэтому поиск и изучение экстрагирующих свойств эффективных полярных растворителей для производства бензола в Узбекистане представляет чрезвычайно важную и актуальную народнохозяйственную задачу.

В разных странах получение бензола основано на различных процессах. Основными источниками получения бензола в Узбекистане являются пиролизный дистилят производства СП ООО «Uz-Kor Gas Chemical» и катализатор риформинга производства ООО «Бухарский НПЗ».

Одним из основных моментов, влияющих на экономичность процесса экстракции, является эффективность экстрагента, определяющая соотношение растворителя к сырью. Снижение этого соотношения является одним из перспективных путей улучшения технико-экономических показателей процесса.

В литературе [2,4] подробно описаны требования, предъявляемые к селективным растворителям. Промышленный экстрагент должен обладать большой селективностью и растворяющей способностью, легкой регенерируемостью, достаточно высокой разностью плотностей с разделяемым сырьем, низкой вязкостью и т.д. При выборе экстрагента следует учитывать ресурсы растворителя и возможность использования выбранного растворителя помимо процессов экстракции и для других промышленных целей.

В настоящее время для экстракции ароматических углеводородов предложено более 200 растворителей, из которых около десяти применяются в промышленности. Однако каждый из них, кроме положительных технологических характеристик, имеет и целый ряд недостатков.

Поэтому широко проводятся исследования в области синтеза новых эффективных растворителей и усовершенствования технологии на основе уже имеющихся экстрагентов [5-11].

Наиболее распространенным экстрагентом ароматических углеводородов $C_6 - C_8$ является диэтиленгликоль, используемый в процессе Юдекс [5,12,15-17]. Его широкое применение объясняется высокой

избирательностью, сравнительной дешевизной, доступностью, высокой термической стабильностью и низкой токсичностью. Диэтиленгликоль обеспечивает высокую степень извлечения и чистоту ароматических углеводородов. Процесс Юдекс интенсивно усовершенствовался путем улучшения технологии и замены диэтиленгликоля на высшие полигликоли - три - и тетраэтиленгликоль, обладающие большей емкостью по сравнению с диэтиленгликолем и практически такой же селективностью [12,18,19].

В 1959 году фирма "Шелл" разработала процесс экстракции с использованием сульфолана [15]. Сульфолан обладает высокой селективностью и большей растворяющей способностью, чем гликоли. Это позволяет проводить процесс при меньших подачах растворителя [20].

Сульфолан является одним из наиболее эффективных современных селективных растворителей, о чем говорит быстрое внедрение сульфоланового процесса в промышленность за рубежом. Так, если первая установка была пущена в 1962 году, то в 1970 году процесс использовали уже на 40 установках. К недостаткам процесса можно отнести трудности удаления растворителя из продуктов разделения и необходимость использовать пониженные давления при регенерации растворителя. Сульфолан обладает сравнительно высокой температурой плавления ($27,8^{\circ}\text{C}$) [15], которая может быть снижена добавлением воды, но это приводит к значительному снижению растворяющей способности сульфолана. Резкие изменения условий проведения процесса по сравнению с Юдекс процессом и сравнительно высокая стоимость сульфолана требуют значительных капиталовложений.

Французский институт нефти предложил использовать в качестве экстрагента диметилсульфоксид [12]. Основные преимущества его как экстрагента ароматических углеводородов сводятся к следующим: благодаря низкой вязкости растворителя, достаточно низкой температуре плавления при небольшом содержании воды и достаточно высокой плотности, процесс можно вести при низких температурах $25-40^{\circ}\text{C}$; в условиях процесса растворитель не вызывает коррозии аппаратуры; не токсичен; позволяет выделять ароматические углеводороды из любых фракций нефти [31,32].

К недостаткам диметилсульфоксида следует отнести то, что он имеет сравнительно низкую термическую стабильность (термостоек до 140°C), вследствие чего затрудняется регенерация его методом ректификации. Для получения чистых ароматических углеводородов вниз экстракционной колонны подают второй растворитель (бутан или пентан), чтобы вытеснить из экстрактной фазы 3-5% неароматических углеводородов [12-14]. Выщеление растворителя из экстрактной фазы осуществляется реэкстракцией

ароматических углеводородов бутаном или пентаном. Применение второго растворителя усложняет технологическую схему [33]. Кроме того, диметилсульфоксид гигроскопичен, а наличие воды в растворителе снижает его растворяющую способность.

Таким образом, ни один из вышерассмотренных селективных растворителей не является идеальным для выщеления низкомолекулярных ароматических углеводородов. Указанные недостатки растворителей в технологическом и экономическом планах вынуждают исследователей к поиску новых более эффективных растворителей, в том числе и смешанных, получаемых на основе уже имеющихся в ассортименте химической промышленности веществ [30].

Наиболее широко практикуется добавление воды [12,21-29], с целью повышения селективности процесса экстракции и увеличения концентрации извлекаемых компонентов в экстракте. Однако использование воды приводит к повышению расхода растворителя, к снижению его растворяющей способности, к увеличению энергетических затрат. Введение воды в экстрагент сопровождается в ряде случаев гидролизом растворителя, приводящим к коррозированию аппаратуры, снижению стабильности растворителя.

Современные исследователи считают, использование смешанных растворителей, в составе которых отсутствует вода, является одним из перспективных путей улучшения процесса экстракции низкомолекулярных ароматических углеводородов.

Приведенный обзор литературы позволяет сделать следующие выводы. В настоящее время в промышленной практике для извлечения низкомолекулярных ароматических углеводородов из нефтяного сырья широкое распространение получил процесс жидкостной экстракции с применением селективных растворителей. Усовершенствование процесса связано с подбором новых более эффективных, чем применяемые в настоящее время, селективных растворителей. Анализ литературных источников показывает, что среди предлагаемых в настоящее время новых селективных растворителей практический интерес представляет диметилсульфоксид и диэтиленгликоль. Экстракцию бензола ДМСО+ДЭГ системе можно вести при низких температурах, атмосферном давлении и низкой кратности растворителя к сырью. ДМСО+ДЭГ удовлетворяет требованиям, предъявляемым к селективным растворителям, и располагает дешевой и доступной сырьевой базой.

Цель работы изучить возможность повышения эффективности процесса извлечения бензола из пиролизного дистиллята производства СП ООО «Uz-

Kor Gas Chemical» и катализаторов риформинга производства ООО «Бухарский НПЗ» путем использования в качестве экстрагента диметилсульфоксида (ДМСО) и его смесей с диэтиленгликолем (ДЭГ).

Для достижения поставленной цели требуется проведения следующих задач:

1. Изучение взаимной растворимости ароматических углеводородов, н-парафинов, бензол и смешанного растворителя ДМСО+ДЭГ.

2. Изучение влияния основных факторов процесса на показатели экстракции бензола.

В научной работе исследованы растворяющая и избирательная способности смешанного растворителя ДМСО + ДЭГ при экстракции бензола из искусственной углеводородной смеси и пиролизного дистиллята. Установлены зависимости между экстракционными показателями и технологическими параметрами.

Таблица 1. Физико-химические свойства ДМСО

№	Наименование показателя	Справочные данные
1.	Молекулярная масса, г/ <u>моль</u>	78,13
2.	Плотность, г/см ³	1,1004 г/см ³
3.	Температура кипения, °С (при 760 мм рт.ст.)	189
4.	Температура плавления, °С	18,5
5.	<u>Константа диссоциации кислоты</u> pKa	35,1
6.	Динамическая вязкость при 25°С, Па·с	0,001996
7.	Коэффициент преломления диметилсульфоксида при 20 °С:	1,4778-1,4790

Для определения взаимной растворимости диметилсульфоксида и н-парафинов применяли н-парафины н-гексана и н-октан. Для работы использовали ДМСО, ДЭГ, бензол и н-парафины, физико-химические константы которых соответствовали литературным данным (таблицы 1 – 6).

Таблица 2. Диметилсульфоксид должен соответствовать требованиям ТУ 2635-114-44493179-08

№	Наименование показателя	Норма
1.	Внешний вид	бесцветная прозрачная жидкость
2.	Массовая доля основного вещества, %, не менее	99,5
3.	Плотность при 20°С, г/см ³ , в пределах	1,099-1,103
4.	Показатель преломления n_{20D} , в пределах	1,478-1,481
5.	Массовая доля воды, %, не более	0,1
6.	Массовая доля кислот (в пересчёте на уксусную кислоту), %, не более	0,001
7.	Массовая доля щелочей в пересчете на аммиак (NH ₃), %, не более	0,001

8.	Массовая доля хлоридов (Cl ⁻), %, не менее	0,0005
9.	Массовая доля сульфатов (SO ₄ ²⁻), %, не менее	0,005
10.	Массовая доля нелетучего остатка, %, не более	0,005
11.	Температура кристаллизации, °С, не ниже	18
12.	Гарантийный срок хранения	1 год

Диметилсульфоксид (ДМСО) – химическое вещество с формулой – (СН₃)₂SO. Бесцветная жидкость без запаха со специфическим сладковатым вкусом (недостаточно чистый продукт имеет характерный запах диметилсульфида). Важный биполярный апротонный растворитель. Находит широкое применение в различных областях химии, а также в качестве лекарственного средства [34].

Таблица 3. Физико-химические свойства n-парафинов

№	Название	T _{пл} , °С	T _{кип} , °С	Плотность, г/см ³	Показатель преломления
1	<u>Гексан</u>	-95, 3	68,7	0,6594	1,3749
2	<u>Октан</u>	-55, 8	125,7	0,7025	1,3974

Таблица 4. Физико-химические свойства ДЭГ

№	Наименование показателя	Справочные данные
1.	Молекулярная масса, г/ <u>моль</u>	106,12
2.	Плотность, г/см ³	1,118
3.	Температура кипения, °С (при 760 мм рт.ст.)	244-245
4.	Температура плавления, °С	-7.8
5.	Температура вспышки, °С	124

Таблица 5. Диэтиленгликоль должен соответствовать требованиям ГОСТ 10136

№	Наименование показателя	Норма
1.	Внешний вид	бесцветная прозрачная жидкость
2.	Массовая доля основного вещества, %, не менее	99,5
3.	Плотность при 20°С, г/см ³ , в пределах	1,116-1,117
4.	Массовая доля органических примесей, %, не более;	0,40
	в том числе <u>этиленгликоля</u> , %, не более	0,15
5.	Массовая доля воды, %, не более	0,05
6.	Массовая доля кислот в пересчете на уксусную кислоту, %, не более	0,005
7.	Число омыления, мг КОН на 1 г продукта, не более	0,10
8.	<u>Цвет</u> , единицы Хазена, не более	10
9.	Температурные пределы перегонки при давлении 101,3 кПа (760 мм рт.ст.):	
	начало перегонки, °С, не ниже	244

конец перегонки, °С, не выше	249
------------------------------	-----

Таблица 6. Физико-химические свойства бензола

№	Наименование показателя	Справочные данные
1.	Молекулярная масса, г/ <u>моль</u>	78,11
2.	Плотность, г/см ³	0,8786
3.	Температура кипения, °С (при 760 мм рт.ст.)	80,1
4.	Температура плавления, °С	5,5
5.	Температура вспышки, °С	-11
6.	Температура самовоспламенения, °С	562
7.	<u>Пределы взрываемости</u> , об. %	1,2 ± 0,1
8.	<u>Растворимость</u> в воде, г/мл	0,073 /100
9.	<u>Энергия ионизации</u> , эВ	9,24 ± 0,01
10.	Динамическая вязкость при 25°С, Па·с	0,0652
11.	Энтальпия <u>образования</u> , кДж/моль	82,930
12.	Давление пара, мм рт.ст	75 ± 1
13.	Коэффициент преломления при 20 °С:	1,501
14.	<u>Предельная концентрация</u> , мг/м ³	5
15.	<u>ЛД₅₀</u> , мг/кг	28 - 100

Влияние состава растворителя на взаимную растворимость в трехкомпонентных системах изучали на примере системы гексан-бензол-ДМСО+ДЭГ при 20+0,05°С методом титрования. Содержание диэтиленгликоля в смешанном растворителе составляло 50 масс.%. Экспериментальные данные приведены в виде диаграмм растворимости на рисунке 1 и представлены в таблице 7. Характеристики диаграмм растворимости приведены в таблице 8. Система, содержащая чистый ДМСО, характеризуется небольшой площадью гетерогенной области, что говорит о высокой взаимной растворимости компонентов системы, высокой растворяющей и низкой избирательной способности ДМСО. Добавление ДЭГ к ДМСО вызывает значительное увеличение гетерогенной области диаграммы, максимальной концентрации бензола в экстракте и верхнего предела концентрации ароматического углеводорода в сырье. Особенно значительно гетерогенная область увеличивается при добавлении первых 50% ДЭГ к ДМСО - с 28,4 до 89,5%.

Таблица 7. Система н-гексан - бензол + растворитель (ДМСО + ДЭГ 1:1 масс.) взаимная растворимость компонентов при 20°С

№	Содержание компонентов в смеси, масс. %			
	н-гексан	Бензол	Растворитель	Сумма
1.	2,1	0,0	97,9	100,0
2.	2,3	8,8	88,9	100,0
3.	3,9	17,5	78,6	100,0
4.	4,9	27,2	67,9	100,0
5.	5,8	36,5	57,7	100,0

6.	6,5	44,6	48,9	100,0
7.	6,2	54,2	39,6	100,0
8.	0,0	71,4	28,6	100,0
9.	0,0	97,8	2,2	100,0
10.	17,8	80,0	2,2	100,0
11.	39,8	58,0	2,2	100,0
12.	60,0	37,9	2,1	100,0
13.	79,5	18,4	2,1	100,0
14.	98,0	0,0	2,0	100,0

Влияние состава растворителя на взаимную растворимость

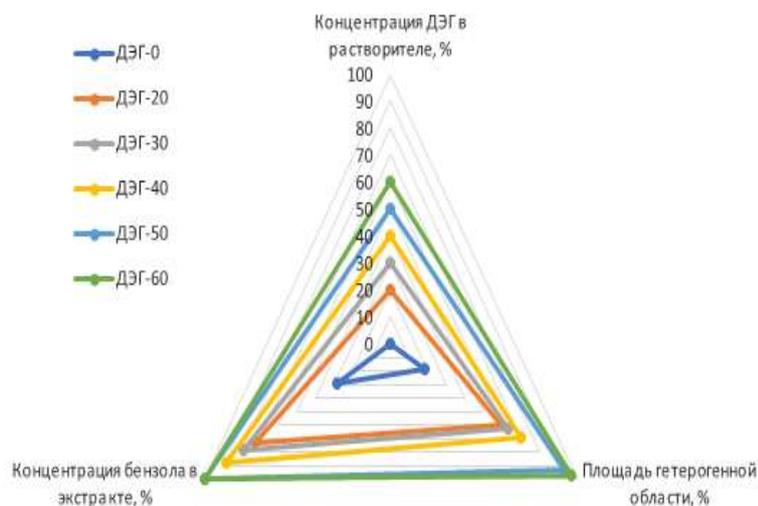


Рис. 1. Влияние состава растворителя на взаимную растворимость компонентов в системе н-гексан – бензол – ДМСО + ДЭГ при 20°C. 1 – 20% ДЭГ, 2 – 30% ДЭГ, 3 – 40% ДЭГ, 4 – 50% ДЭГ, 5 – 60% ДЭГ.

Таблица 8. Характеристики диаграмм растворимости систем н-гексан – бензол – ДМСО + ДЭГ при 20°C.

№	Состав растворителя, масс. %		Площадь гетерогенной области, %	Максимальная концентрация бензола в экстракте, масс. %
	ДМСО	ДЭГ		
1.	100,0	0,0	18,7	29,0
2.	80,0	20,0	59,5	73,0
3.	70,0	30,0	62,7	79,0
4.	60,0	40,0	69,8	88,0
5.	50,0	50,0	92,8	100,0
6.	40,0	60,0	97,2	100,0

Концентрация бензола в экстракте увеличивается при этом от 29,0 до 83%. Когда содержание ДЭГ в смешанном растворителе достигает 50 масс.%, площадь гетерогенной области увеличивается до 92,8%, а кривая растворимости становится разомкнутой или, употребляя терминологию Френсиса [35], диаграмма растворимости превращается в диаграмму типа полосы. Появляется область не смешиваемости для системы бензол- (50% ДМСО + 50% ДЭГ). Растворимость бензола в смешанном растворителе такого

состава равна 89,5 масс. %, растворимость растворителя в бензоле 1,3 масс.%. В этом случае при подборе соответствующих условий экстракции можно получать экстракт, содержащий 100% бензола. Увеличение содержания ДЭГ в смешанном растворителе до 60% незначительно сказывается на расширении гетерогенной области диаграммы и не изменяет максимальную концентрацию бензола в экстракте.

Таким образом, добавление ДЭГ к ДМСО приводит к снижению растворяющей способности и повышению избирательности растворителя. Учитывая характер кривых растворимости, содержание ДЭГ в смешанном растворителе выше 50% нецелесообразно.

По вышеуказанному условию оптимальной технологию экстрагировали бензола из пиролизного дистиллята производства СП ООО «Uz-Kor Gas Chemical» на смешанном растворителе ДМСО + ДЭГ в соотношении по массе 1:1 и полученный бензол очищали, анализировали на приборе GCMS. Результаты анализов приведены на таблице 9 и рис.2.

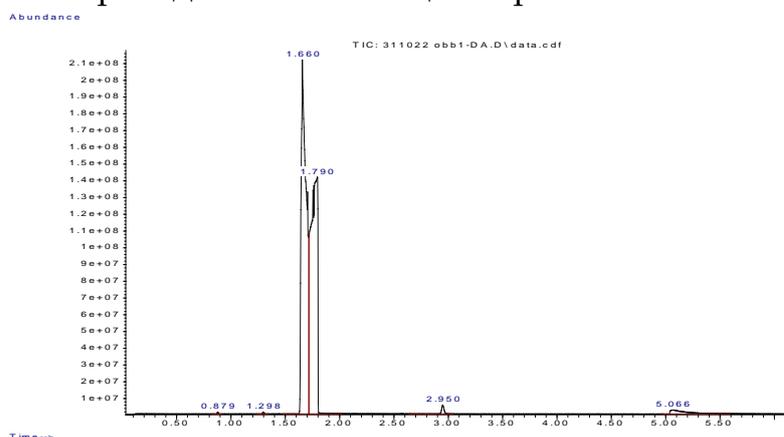


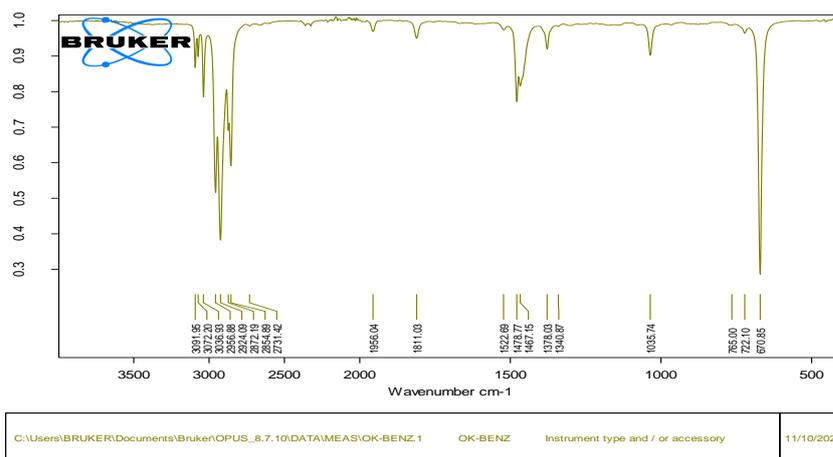
Рис.2. Хроматограмма экстрагированного бензола из пиролизного дистиллята.

Таблица 9. Результаты сравнения с базой данных прибора GCMS

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	0.879	0.07	C:\Database\N02W275&Other\RTLPEst2.1			
No matches found						
2	1.298	0.08	C:\Database\N02W275&Other\WILEY275.L			
Hexane (CAS) \$\$ n-Hexane \$\$ Skelly 3551 000110-54-3 80						
solve B \$\$ n-C6H14 \$\$ Esani \$\$ Hek						
san \$\$ Hexanen \$\$						
3	1.660	50.37	C:\Database\N02W275&Other\WILEY275.L			
Benzene (CAS) \$\$ Phene \$\$ Benzol \$ 2133 000071-43-2 91						
\$ Benzole \$\$ Pyrobenzol \$\$						
4	1.790	47.15	C:\Database\N02W275&Other\WILEY275.L			
Benzene (CAS) \$\$ Phene \$\$ Benzol \$ 2133 000071-43-2 94						
\$ Benzole \$\$ Pyrobenzol \$\$						
5	2.950	0.58	C:\Database\N02W275&Other\WILEY275.L			

Toluene	4599 000108-88-3 95
6 5.066 1.76 C:\Database\N02W275&Other\WILEY275.L	
Methane, sulfinylbis- (CAS) \$\$ Dim	2094 000067-68-5 75
ethyl sulfoxide \$\$ DMSO \$\$	

Полученные результаты анализов показывает, что экстракция бензола из пиролизного дистилята производства СП ООО «Uz-Kor Gas Chemical» на смешанном растворителе ДМСО + ДЭГ в соотношении по массе 1:1 бензол проявился в 1,660 и 1,790 минутах с чистотой 97,52%. ИК спектроскопический анализ полученного бензола приведен в рис.3 и 4.



Page 1/1

Рис.3. ИК спектрограмма экстрагированного бензола из пиролизного дистилята.

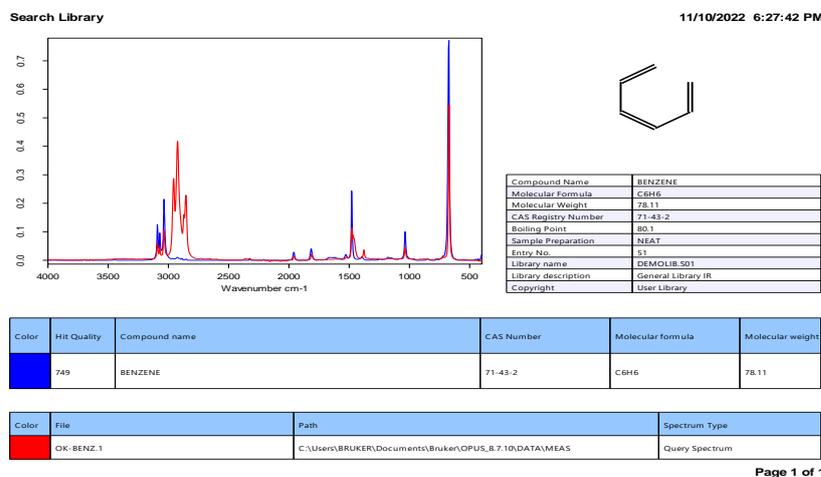


Рис.4. ИК спектрограмма экстрагированного бензола из пиролизного дистилята сравнения с базой данных прибора.

Таким образом, основываясь на полученных результатов экстракция бензола из пиролизного дистилята производства СП ООО «Uz-Kor Gas Chemical» на смешанном растворителе ДМСО + ДЭГ в соотношении по массе 1:1 даёт возможность повышения эффективности процесса извлечения бензола целесообразно.

Определены оптимальные параметры процесса экстракции бензола смешанным растворителем ДМСО + ДЭГ, необходимые для проектирования установок экстракции ароматических углеводов.

На основании полученных данных и их математической обработки на лабораторных условиях, установлены оптимальные условия проведения экстракции бензола из модельных смесей углеводов и пиролизного дистиллята смешанным растворителем ДМСО + ДЭГ. Показана целесообразность и эффективность замены диэтиленгликоля на смешанный растворитель ДМСО + ДЭГ. Полученные данные могут быть использованы при проектировании установок экстракционного выделения бензола и реконструкции аналогичных установок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://marketing.rbc.ru/articles/9797/>
2. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. Перевод с англ./ под ред. С.З.Когана. – М.: Мир, 1966. – 723 с.
3. Smith, Martyn T. Advances in understanding benzene health effects and susceptibility (англ.)// Ann Rev Pub Health: journal. – 2010. – Vol. 31. – P. 133 – 148.
4. Гурвич В.А., Сосновский Н.П. Избирательные растворители в переработке нефти. – М.: Гостоптехиздат, 1953. – 316 с. (с,3 – 7).
5. Покорский В.Н., Авдей Г.М., Яблочкина М.Н. Опыт освоения промышленных установок экстракции ароматических углеводов диэтиленгликолем. - В кн.: Жидкостная экстракция. - Л.: Химия, 1969, с.330-342.
6. А.С.681035(СССР). Экстрагент для выделения ароматических углеводов из их смесей / Р.Х.Хазипов, Н.Н.Новицкая, А.З.Биккулов и др. / - опубл. в Б.И., 1979, № 31.
7. А.С.611899(СССР). Способ выделения ароматических углеводов из смесей с неароматическими углеводородами / А.А.Гайле и др. / -опубл. в Б.И., 1978, № 23.
8. А.С.569551(СССР). Способ выделения ароматических углеводов из смесей с неароматическими углеводородами / А.Н.Осадчая, И.И.Медведевская, В.М.Фолшчев /. - Оpubл. в Б.И., 1977, № 31.
9. А.С.739048(СССР). Способ выделения ароматических углеводов / Г.Т.Нестерчук, М.Ş.Бондаренко и др. / - Оpubл. в Б.И., 1980, № 21.

10. А.С.612921(GCGP). Способ разделения многокомпонентной смеси ароматических и парафиновых углеводородов /Л.П.Шапиро и др./Опубли. в Б.И., 1978, № 24.
11. А.С.717023(СССР). Способ выделения ароматических углеводородов из их смеси с неароматическими / В.А.Рогозкин, Г.М.Авдей/ -Опубли. в Б.И., 1980, № 7.
12. Сулимов А.Д. Производство ароматических углеводородов из нефтяного сырья. - М.: Химия, 1975. 302 с.
13. Кимура Такам, Ито Сигеру. Применение диметилсульфоксида в качестве селективного растворителя для ароматических углеводородов. Сэкию гаккайси. -Japan Petrol.Inst., 1962; 5, №II.
14. Ratliff E.,Strobel W. Use of sulfure dioxide for extracting benzen and toluene.-Petroleum Engineer.» 1954, 26, P.26-34.
15. Дил К.Г., Ивенс Г.Д., Оливер Э.Д. Экстракция ароматических углеводородов сульфоланом. - В сб.: У. Международный нефтяной конгресс. 1959. - М., т.Ш, 1961, с.107-123.
16. Биккулов А.З., Грошев Б.М., Попов В.А. Избирательные растворители для экстракции углеводородов. - Химия и технология топлив и масел, 1965, № 6, с.13-18.
17. Биккулов А.З., Грошев Б.М., Попов В.А. Гликоли, как избирательные растворители для экстракции углеводородов. - Нефтепереработка и нефтехимия, 1964, № II, с.24-26.
18. Биккулов А.З., Хазипов Р.Х. К подбору избирательных растворителей для экстракции низкомолекулярных ароматических углеводородов. - Химия и технология топлив и масел, 1971, № 10, с.15-19.
19. Грищенко Н.Ф., Яблочкина М.Н., Шапиро Л.П., Рогозкин В.А. Выделение ароматических углеводородов. - Химия и технология топлив и масел. 1979, № 10, с.26-29.
20. Вольфсон И.О. и др. Экстракция ароматических углеводородов сульфоланом. - Химия и технология топлив и масел, 1963, № 2, с.6-9.
21. Kusters V/. Sulfolan extraction. Ein.Verfahren hoher betreiblich ervviesenen anpassungsfahigkeit.-Erdol und Kohle, 1970, 23, N 4.
22. А.С.395348(СССР), Способ выделения ароматических углеводородов / В.А.Проскуряков и др./ - Оцубл. в Б.И., 1973, № 35.
23. Jones W.,Payne V. New solvent to extract aromatics.Hydrocarb.Process, 1973» 52, N 3, P. 91-92.
24. Процесс "Ароссольван" фирмы Лурги. - Экспресс информация. Химическая переработка нефти и газа, 1968, № 24.

25. Мй11ег Е. Use of N-methyl Pyrrolidone for aromatics extraction.-Ghem. and Ind., 1973, N II, P.518-522.
26. Сарданашвили А.Г. и др. Щеление ксилолов N - метилпирролидоном из высокоароматизированного сырья. - Нефтепереработка и нефтехимия, 1974, № 10, с.21-23.
27. Глуховская Т.П., Прокопец М.М., Гриненко В.С. Разделение ароматических и олефиновых углеводородов водными растворами N - метилпирролидона и диметилформамида. - Известия ВУЗов СССР. Нефть и газ, 1970, № II, с.60-64.
28. Raibault O. Extraction des aromatiques par le dimethylsulfoxide.- Ind.chim. Beige, 1968, 33, N 3,P.249-255.
29. Щербина Е.И., Тененбаум А.Э., Бащун Т.В. Изучение селективных и растворяющих свойств смешанных растворителей. - Химия и технология топлив и масел, 1973, № 3, с.25-29.
30. Щербина Б.И., Тененбаум А.д., Макарова З.В. Дццветилсульфоксид, как растворитель для экстрагирования низших ароматических углеводородов. - Известия ВУЗов СССР. Нефть и газ, 1969, № I, С.69-71.
31. Щербина Б.И., Тененбаум А.Э., Макарова З.В., Рудницкая Н.\$. Изучение фазовых равновесий в тройных системах, содернсщих в качестве растворителя диметилсульфоксида. - Химия и технология топлив и масел, 1970, № 10, с.17-21.
32. VIII Мировой нефтяной конгресс. Разделение углеводородов, включая проектно-конструкторские разработки ДС-13, - М.: Внешторгиздат, 1971, с.42-45.
33. Krause A. Dimethylsulfoxide gets,try out in new aromaticsextraction Process,- Chemical Engineering, 1966, 73,N 3, P. 54-56.
34. Кукушкин Ю. Н. Диметилсульфоксид – важнейший апротонный растворитель // Соросовский образовательный журнал, 1997, 9, С. 54-59.
35. Фрэнсис А. Равновесие жидкость-жидкость. Перевод с англ./ Под ред. Д.С.Циклиса. - М.: Ин.лит.,1969.
36. Атоев Э. Х., Гафурова Г. А. Рафинирование и экстракция семян тыквы сверхкритической углекислотой //Universum: технические науки. – 2020. – №. 5-2 (74). – С. 26-28.
37. Атоев Э. Х. ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ ОКСИАЗОСОЕДИНЕНИЯ КАК АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ //Universum: химия и биология. – 2021. – №. 3-2 (81). – С. 4-6.