

ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЭФИРОВ АЛКЕНИЛАНТАРНЫХ КИСЛОТ

Ф.Х. Алиева, М.А. Мамедъяров

Институт нефтехимических процессов им. Ю.Г.Мамедалиева НАН Азербайджана г. Баку

Приведены данные химической модификации эфиров гексенилантарных кислот. Изучена корреляционная зависимость вязкостно-температурных и эксплуатационных свойств полученных соединений от структуры молекулы

Одним из перспективных классов химических соединений, нашедших применение в качестве синтетических масел, являются сложные эфиры карбоновых кислот [1]. Их используют как в чистом виде, так и в составе смазочных композиций и смешанных основ. Сложные эфиры хорошо совместимы с минеральными маслами и обладают рядом преимуществ перед нефтяными маслами: хорошими вязкостно-температурными свойствами, низкой температурой застывания и высокой термоокислительной стабильностью, экологически безвредны, что в настоящее время немаловажно [2-5]. Они обладают хорошей смазывающей и детергентно-диспергирующей свойствами, малой испаряемостью и вязкостью при низких температурах. Эти преимущества позволяют использовать синтетические смазочные масла эфирного типа в более жестких условиях эксплуатации, т.е. при высоких температурах (200⁰С и выше). Потребность в смазочных маслах сложноэфирного типа неуклонно растет. Начиная с 1980 года, ежегодный прирост производства синтетических масел составляет 10%, среднегодовой рост потребления сложноэфирных масел – 22%.

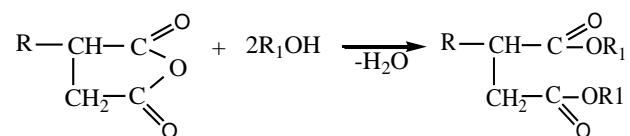
Рост потребности в синтетических смазочных маслах вызван не столько сокращением запаса нефти, сколько необходимостью улучшения эксплуатационных характеристик масел и увеличения срока их службы [6-7]. В начале 70-х годов объем потребления синтетических масел в развитых странах составлял 0.3-0.5% объема потребления нефтяных, а в начале 80-х годов – уже 2-3% [8]. Основная доля (около 70%) приходится на продукты, получаемые на базе поли- α -олефинов, сложных эфиров и полиалкиленгликолей.

В лаборатории синтетических масел Института нефтехимических процессов НАН Азербайджана разработана технология получения новых типов синтетических масел на базе эфиров алкенилантарных кислот (АЯК). Указанные типы синтетических масел по своим эксплуатационным характеристикам не уступают, а по некоторым показателям превосходят промышленные эфирные синтетические масла. Отличительной особенностью эфиров АЯК в качестве основ синтетических масел явилась их структурная особенность, т.е. наличие двойной (C=C) связи в алкенильном радикале, что позволяет ввести в молекулу эфира различные функциональные группы. Кроме того, раскрытие ангидридного кольца в молекуле исходного алкенилантарного ангидрида также позволяет синтезировать многофункциональные эфиры.

Ангидриды АЯК были получены еновым синтезом малеинового ангидрида и α -олефинов. Процесс ведется в автоклаве. Были определены оптимальные условия: температура 200-220⁰С, время реакции 10-12 ч, соотношение МА: α -олефинов 1:3 - 4. Для предотвращения полимеризации α -олефинов в реакционную смесь добавляли 0.3-0.5% мас. гидрохинона. После атмосферной отгонки избытка α -олефинов конденсат перегоняли под вакуумом. Выход ангидридов АЯК составил 69-75% от теор.

Ангидриды АЯК (C_6, C_8, C_{10}) представляют собой жидкости светло-желтого цвета. Структура ангидридов АЯК была доказана данными ИК- и ПМР-спектроскопии.

На основе ангидридов АЯК и алифатических спиртов C_4-C_{12} нормальной и изоструктуры, а также циклических и ароматических спиртов был синтезирован ряд сложных эфиров:



Изменением спиртовых радикалов были получены сложные эфиры несимметричного строения. Также был синтезирован ряд оксипропилированных эфиров гексенилэтантарной кислоты (ГЯК). С целью увеличения числа эфирных групп были синтезированы комплексные эфиры. Изучены их физико-химические и вязкостно-температурные свойства. Данные этих эфиров показаны в табл. 1.

В случае введения в структуру молекулы эфиров вместо алифатических спиртовых фрагментов циклических или ароматических заметно ухудшаются не только низкотемпературные показатели, но и индекс вязкости. Так, метилциклогексильный эфир ГЯК (табл. 1) обладает более высоким уровнем вязкости при 100°C ($5.68 \text{ мм}^2/\text{с}$ у эфира II), чем соответствующие алифатические эфиры ($3.04 \text{ мм}^2/\text{с}$ у эфира I), худшими низкотемпературными свойствами и индексом вязкости (36.5 против 152 , соответственно). Это связано со структурой синтезированных эфиров, т.е. на температуру застывания и низкотемпературную текучесть существенное влияние оказывает природа циклического фрагмента.

Введение ароматического кольца не оказывает существенного влияния на повышение вязкости при 100°C ($3.53 \text{ мм}^2/\text{с}$ у эфира III, $3.04 \text{ мм}^2/\text{с}$ у эфира I), но резко ухудшает низкотемпературные свойства (-36°C и -64°C , соответственно) и индекс вязкости (76 и 152 , соответственно).

Полученные экспериментальные данные показывают, что вязкостно-температурные свойства синтезированных эфиров ГЯК обуславливаются природой и конформацией спиртового радикала. Наличие разветвленной структуры, а также циклических фрагментов снижает гибкость молекулы, и это особенно заметно при низких температурах.

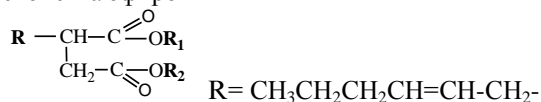
Алкоксиизопропиловые эфиры АЯК отличаются от других различием функциональных групп: имеются две сложноэфирные и две простые эфирные группы, которые, несомненно, оказывают влияние на свойства эфира [9]. Результаты исследований вязкостно-температурных свойств этих эфиров приведены в табл. 1



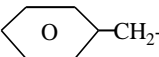
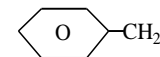
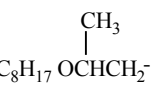
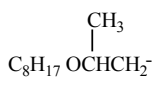
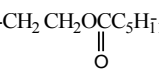
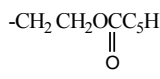

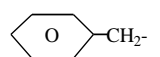
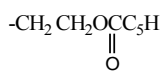
Сопоставление свойств этих соединений со свойствами соответствующих эфиров ГЯК и алифатических спиртов показывает, что диалкоксиизопропиловые эфиры ГЯК характеризуются более высокой вязкостью при 100°C ($4.05 \text{ мм}^2/\text{с}$ у эфира IV против $3.04 \text{ мм}^2/\text{с}$ эфира I), более высокой температурой вспышки, улучшается индекс вязкости. Это можно объяснить наличием в молекуле этих эфиров простых эфирных связей и разветвленной структурой изопропилового фрагмента, расположенного между двумя эфирными связями

Замена одного из спиртовых радикалов в молекуле дициклического эфира, на алифатический спиртовый радикал [табл. 1] приводит к повышению индекса вязкости от 36.5 до 103 , к снижению температуры застывания (от минус 36°C до минус 58°C) и низкотемпературной текучести. То же самое наблюдается в молекуле несимметричного эфира ГЯК, содержащего ароматический и алифатический фрагменты [10]. Введение алифатического радикала в молекулу дибензилового эфира ГЯК мало влияет на вязкость при 100°C ($3.53 \text{ мм}^2/\text{с}$ у дибензилового эфира, $2.86 \text{ мм}^2/\text{с}$ у несимметричного IX), но значительно

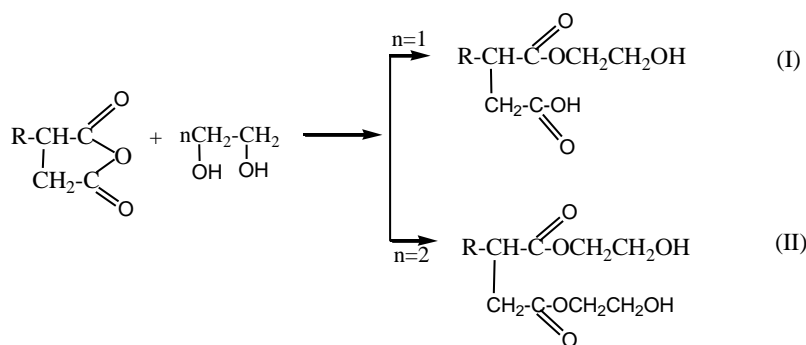
улучшает низкотемпературную текучесть, понижает температуру застывания (от минус 36⁰С до минус 62⁰С) и повышает индекс вязкости (от 76 до 124.3).

Таблица.1. Вязкостно - температурные свойства эфиров ГЯК



№	-R ₁	-R ₂	Вязкость, мм ² /с при °С			Индекс вязкос- ти	Т, °С	
			100	50	-40		застыв.	вспыш.
I	н-С ₈ H ₁₇	н-С ₈ H ₁₇	3.04	8.09	1470.6	152	-64	223
II			5.68	28.61	-	36.5	-36	230
III			3.53	12.09	-	76.0	-36	246
IV			4.05	12.69	3926.8	144.8	-56	258
V	-CH ₂ CH ₂ OH	-CH ₂ CH ₂ OH	13.09	94.09	-	61.2	-30	174
VI			3.54	11.49	19433.9	104.0	-60	208
VII	н-С ₈ H ₁₇	н-С ₆ H ₁₃	3.01	8.51	2332.4	125.8	-62	224
VIII	н-С ₇ H ₁₅		3.08	9.42	4034.0	103	-58	232
IX	н-С ₇ H ₁₅		2.86	7.92	3449.25	124.3	-62	236
X	н-С ₈ H ₁₇	-CH ₂ CH ₂ OH	8,74	37,59	-	126.2	-42	238
XI	н-С ₈ H ₁₇		3.28	9.47	4607.76	135.5	-58	225
XII	Ди(2-этилгексил)себацат (ДОС)		3.31	8.89	1450	154	-60	221
XIII	Эфир пентаэритрита и СЖК С ₅ -С ₉		4.5	-	9260	130	-60	246

Также в последнее время большое внимание уделяется получению комплексных эфиров. Комплексные эфиры можно синтезировать, используя дикарбоновые кислоты, гликоли и алифатические жирные кислоты. С целью изучения влияния структуры комплексных эфиров на вязкостно-температурные и другие свойства был синтезирован ряд комплексных эфиров на основе ангидрида ГЯК, гликолей [11]. Также были использованы жирные кислоты и алифатические спирты. Для получения комплексных эфиров этерификация проводилась поэтапно (два или три этапа):



Комплексные эфиры, содержащие в составе гликолевые радикалы, т.е. свободные гидроксильные группы, как и ожидалось, обладают высокой вязкостью при 100⁰С, высокой низкотемпературной текучестью и низким индексом вязкости, несмотря на удовлетворительные значения температуры застывания. Наличие свободной ОН-группы резко ухудшает низкотемпературную текучесть, почти не сказываясь на уровне температуры застывания. Это еще раз доказывает, что температура застывания и низкотемпературная текучесть не находятся в прямой зависимости. Определяющим фактором низкотемпературной текучести является природа заместителя, в данном случае наличие ОН-группы. В случае, когда взят пропиленгликоль, разветвленность структуры гликоля несколько снижает температуру застывания, но почти не отражается на низкотемпературной текучести.

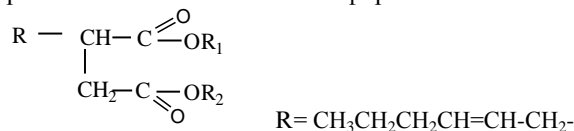
Этерификацией свободной ОН-группы были получены полные эфиры, более маловязкие при 100⁰С. Эти комплексные эфиры отличались повышением индекса вязкости, лучшими низкотемпературными свойствам. (табл.1.)

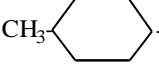
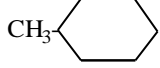
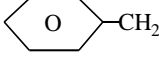
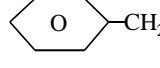
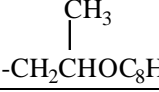
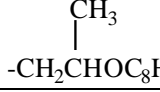
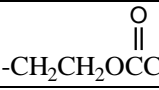
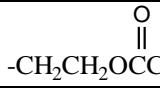
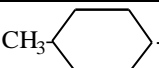
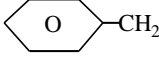
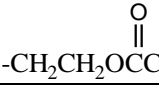
Кроме вязкостно-температурных свойств, были изучены эксплуатационные свойства этих эфиров.

Известно, что термическая устойчивость химического соединения находится в прямой зависимости от структуры соединения. Для выяснения характера подобной зависимости в ряде сложных эфиров ГЯК было проведено сопоставительное дериватографическое исследование термической устойчивости. Данные этих исследований приводятся в табл.2.

При сравнении термогравиметрических параметров полученных соединений видно, что даже начальный период термохимических превращений, характеризуемый параметром Т₁₀%, различается в зависимости от структуры молекулы. Как видно, более стабильным соединением является комплексный эфир ГЯК с четырьмя сложноэфирными группами, так как 10% потери массы происходит при температуре 348⁰С, тогда как у динонилового эфира эта температура соответствует 262⁰С, а температура, при которой происходит 90% потеря массы - 445⁰С, у динонилового эфира - 379⁰С.

Таблица 2. Данные термогравиметрического анализа сложных эфиров АЯК



№	R ₁	R ₂	T _{10%} , °C	T _{50%} , °C	T _{90%} , °C	Время разложения от 10 до 90%, мин
I	н-C ₉ H ₁₉ -	н-C ₉ H ₁₉ -	262	348	379	11.7
II			290	328	348	5.8
III			260	325	361	10.1
IV			262	358	395	13.3
V	-CH ₂ CH ₂ OH	-CH ₂ CH ₂ OH	300	390	441	14.1
VI			348	400	445	9.7
VII	н-C ₉ H ₁₉ -	н-C ₆ H ₁₁ -	282	360	390	10.8
VIII		н-C ₇ H ₁₅ -	286	335	362	7.6
IX		н-C ₇ H ₁₅ -	280	345	370	9.0
X	-CH ₂ CH ₂ OH	н-C ₈ H ₁₇ -	296	378	415	10.9
XI		н-C ₈ H ₁₇ -	278	354	390	11.2

Известно, что циклогексанола являются вторичными спиртами, термическая стабильность которых уступает эфирам первичных спиртов. Это подтверждается и на примере эфиров, полученных нами. Несмотря на то, что температура, при которой происходит потеря 10% массы диметилциклогексанолового эфира ГЯК, соответствует 290⁰С (выше, чем у динонилового эфира ГЯК – 262⁰С), однако при 348⁰С происходит 90% потеря массы, тогда как у динонилового эфира такая потеря массы происходит при температуре 379⁰С. Нарушение симметрии приводит к улучшению термической стабильности эфиров. Как видно из табл.2, лучшей термической стабильностью обладают комплексные эфиры.

Термоокислительную стабильность эфиров ГЯК определяли по ГОСТ 23797-79 [12]. Результаты испытаний приводятся в табл. 3.

Для испытания термоокислительной стабильности были выбраны эфиры с различными структурами. Как видно из табл. 3, исследованные эфиры достаточно стабильны к окислению. Во всех случаях коррозия на пластинках алюминиевого сплава АК-4 отсутствует. Незначительная коррозия обнаружена на стали марки ШХ-15.

Несимметричные эфиры ГЯК обладают лучшими термоокислительными свойствами, чем симметричные: нарушение симметрии приводит к улучшению испаряемости (1.66% против 3.83%), уменьшению осадка, нерастворимого в изооктане. А циклические эфиры, в частности диметилциклогексановый эфир ГЯК, обладают более низкими термоокислительными свойствами, чем алифатические эфиры, что связано со структурой спиртового радикала, который является вторичным и потому менее стабильным, чем алифатические первичные спирты.

Известно, что наличие гидроксильной группы в молекуле эфира отрицательно влияет на его термоокислительную стабильность, что было доказано еще раз в случае изучения термоокислительной стабильности комплексного эфира, содержащего свободную ОН-группу. Этот эфир отличается большим количеством осадка, нерастворимого в изооктане (1.08% мас), и коррозией на пластинках ШХ-15 (эфир IX). Комплексные эфиры, не содержащие в молекуле свободные ОН-группы, обладают более лучшими термоокислительными свойствами (эфир X).

Одним из определяющих факторов эксплуатационных свойств синтетических смазочных масел являются их смазывающие свойства, которые непосредственно связаны с химической структурой молекулы. Заметное влияние на смазывающие свойства оказывает, прежде всего, наличие полярных центров, а также пространственная конформация молекулы. Такими полярными центрами в молекулах сложных эфиров ГЯК является полярная сложноэфирная группа.

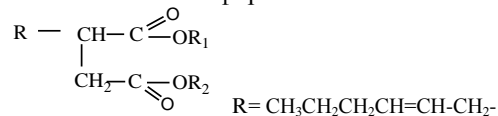
Смазывающие свойства эфиров были изучены на ЧШМ-4. Результаты приводятся в табл. 4.

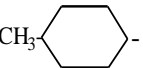
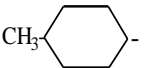
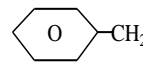
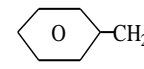
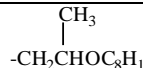
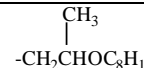
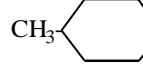
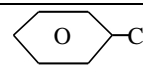
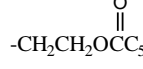
В молекуле симметричного диэфира ГЯК две сложноэфирные группы. Сравнение свойств соединений I, II, III отличающихся между собой природой спиртового радикала, показывает, что их основное различие в показателях износа. Максимальный износ (0.95 мм) имеет эфир с алифатическим нормальным спиртовым радикалом. Минимальный износ (0.69 мм) - выявлен в случае, когда радикалом является циклогексановое кольцо. Эфиры с ароматическими спиртовыми радикалами занимают промежуточное положение (0.79 мм). Нарушение симметрии в этом случае приводит к улучшению смазывающих свойств.

У алкоксиизопропиловых эфиров ГЯК, которые кроме сложноэфирных групп имеют также две простые эфирные группы, увеличивается полярность молекулы, и, соответственно, улучшаются смазывающие свойства, в частности, увеличивается показатель нагрузки сваривания (P_c) и уменьшается диаметр пятна износа.

По своим смазывающим свойствам комплексные эфиры ГЯК превосходят не только другие эфиры ГЯК, а также ДОС и ПЭТ. Комплексные эфиры, которые содержат в молекуле три и четыре сложноэфирные группы, т.е. обладают большим числом полярных центров, по всем показателям превосходят симметричные, несимметричные, а также алкоксиизопропиловые эфиры ГЯК, не имеющие в составе ОН-группу (эфир XI).

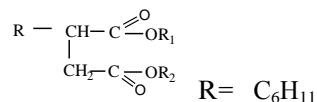
Таблица 3. Данные термоокислительной стабильности эфиров АЯК

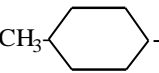
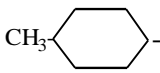
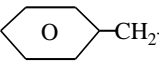
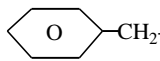
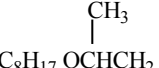

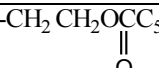

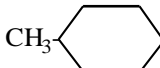

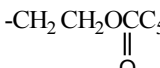


№	R ₁	R ₂	Вязкость, мм ² /с при 100°С		Приращение вязкости, %	Кислот. число, мгКон/г	Осадок не раств. в изооктане, % мас	Коррозия, мг/см ²		Испаряемость % мас
			до окисления	после окисления				АК-4	ШХ-15	
I	n-C ₈ H ₁₇	n-C ₈ H ₁₇	3.04	3.71	22.03	4.49	0.086	отс	отс	3.83
II			5.42	7.33	35.28	16.46	0.84	отс	0.509	7.33
III			3.53	3.95	11.89	9.09	1.16	отс	0.608	1.70
IV			3.24	5.97	84.25	3.43	0.67	отс	отс	10.3
VII	n-C ₉ H ₁₉	n-C ₆ H ₁₁	3.13	3.93	25.5	4.80	0.01	отс	0.115	1.66
VIII		n-C ₇ H ₁₅	3.18	4.66	46.2	8.69	0.11	отс	отс	5.66
IX		n-C ₇ H ₁₅	3.25	5.2	60.0	5.3	0.24	отс	отс	2.70
X	CH ₂ CH ₂ OH	n-C ₈ H ₁₇	8.74	13.89	58.7	7.31	1.08	отс	-0.542	4.66
XI		n-C ₈ H ₁₇	4.92	7.10	44.3	нейтр.	1.430	отс	0.098	3.00

Как видно из данных табл.4, все эфиры ГЯК по данным P_к превосходят ДОС, а комплексные эфиры по индексу задира (P_к), а также по диаметру пятна износа превосходят не только диэфиры ГЯК, а также ДОС и эфиры пентаэритрита. Вероятно, это связано со структурной особенностью и наличием 3-4 полярных сложноэфирных групп, т.к. с увеличением числа карбоксильных групп в составе молекулы увеличивается их поляризованность.

Таблица 4. Смазывающие свойства эфиров ГЯК



№	R ₁	R ₂	Индекс задира (I _з)	Критич. нагрузка, (P _к)	Нагруз. свар., (P _с)	Показатель износа при нагрузке 40 кг/мм (Д _и)
I	н-С ₈ H ₁₇	н-С ₈ H ₁₇	26	56	135	0.95
II			25	56	135	0.69
III			26	56	135	0.79
IV			26	56	137	0.73
V	-CH ₂ CH ₂ OH	-CH ₂ CH ₂ OH	30	71	141	0.75
VI			32	75	147	0.70
VII	н-С ₈ H ₁₇	н-С ₆ H ₁₃	29	56	135	0.83
VIII	н-С ₇ H ₁₅		25	56	135	0.85
IX	н-С ₇ H ₁₅		26	56	126	0.79
X	н-С ₈ H ₁₇	-CH ₂ CH ₂ OH	29	71	141	0.70
XI	н-С ₈ H ₁₇		32	75	141	0.68
XII	Ди(2-этилгексил)себацат (ДОС)		-	50	-	0.69
XIII	Эфир пентаэритрита и СЖК С ₅ -С ₉		29	50	-	0.79

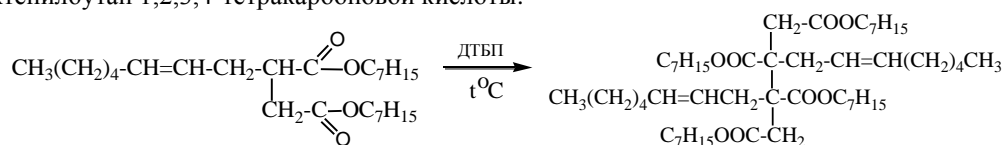
Как показано выше, эфиры ГЯК имеют хорошие показатели низкотемпературных свойств, но они маловязкие. Для получения более вязких эфиров мы хотели использовать двойную связь. С этой целью была проведена олигомеризация эфиров ГЯК. Ввиду того, что двойная связь в молекуле эфира ГЯК экранирована, реакция пошла не по двойной связи, а по третичному углеродному атому.

В литературе известны реакции дегидроконденсации диэфиров дикарбоновых кислот с терминальным расположением эфирных групп. С этой точки зрения было интересно изучить реакцию дегидроконденсации с диэфирами дикарбоновых кислот, у которых карбоксильные группы расположены в вицинальном положении.

Дегидроконденсацию проводили в присутствии инициатора – пероксида дитретбутила. Реакцию изучали на примере дигептилового эфира октенилтантарной кислоты (ОЯК). Про-цесс вели при 95-100°C в течение 6 ч. Количество инициатора изменяли от 2%

до 40%. Установлено, что увеличение количества инициатора от 10 до 40% существенного влияния на протекание реакции не оказывает. Известно, что соединения, у которых двойная связь находится далеко от места разветвления углеродной цепи, к числу которых относится ди-гептиловый эфир октенилянтранной кислоты, трудно поддаются изменению под действием температуры. Было интересно, как поведет себя двойная связь в присутствии инициатора радикального типа – дитретбутила пероксида (ДТБП).

Установлено, что в результате реакции получается – тетрагептиловый эфир 2,3-диоктенилбутан 1,2,3,4-тетракарбоновой кислоты:



Методами элементного анализа, а также ИК- и ПМР спектроскопии установлена структура дегидроконденсата. Подтверждение образования димера доказано методом ПМР-спектроскопии- отсутствием третичного атома углерода.

Изучены вязкостно-температурные свойства продукта реакции дегидроконденсации дигептилового эфира ОЯК. Данные приводятся в табл. 5.

Таблица 5. Вязкостно-температурные свойства 2,3-диоктенилбутан 1,2,3,4-тетракарбоновой кислоты

Соединение	Вязкость, мм ² /с при °С		Индекс вязкости	Температура, °С	
	100	50		заст.	вспыш.
тетраэфир	8.86	38.65	121	-38	258

Как видно из табл.5, тетрагептиловый эфир 2,3-диоктенилбутан 1,2,3,4-тетракарбоновой кислоты, обладает высокой вязкостью при 100°С, высокой температурой вспышки, застывает при минус 38°С и обладает хорошим индексом вязкости. Это желтого цвета вязкая жидкость, которая очень хорошо растворяется в самом эфире, а также в минеральных маслах, улучшая при этом вязкость при 100°С, температуру вспышки, а также индекс вязкости. Учитывая эти свойства, тетрагептиловый эфир 2,3-диоктенилбутан 1,2,3,4-тетракарбоновой кислоты рекомендован как основа и как загущающий компонент смазочных масел.

В отличие от эфиров терминальных дикарбоновых кислот (себациновой, 1,10-декандикарбоновой) эфирные группы расположены в вицинальном положении. При проведении реакции в присутствии инициатора предполагалось, что реакция пойдет по двойной связи. После перегонки исходного эфира получили вязкий продукт. Результаты исследований показали, что после реакции двойная связь в алкенильной части молекулы остается. Методами спектрального анализа установлено, что протекает не олигомеризация, а дегидроконденсация, и реакция протекает по третичному атому углерода. В результате получается димер, который хорошо растворяется в самом диэфире. Так, не отгоняя не вошедший в реакцию исходный эфир, можно получить масла с хорошими вязкостно-температурными свойствами, данные которых приводятся в табл.6. Эти дегидроконденсаты обладают более высоким уровнем вязкости при 100°С и удовлетворительной низкотемпературной текучестью, а также высоким уровнем индекса вязкости.

Таблица 6. Вязкостно-температурные характеристики дегидроконденсатов

№	Выход, %	Вязкость, мм ² /с			Индекс вязкости	Температура, °С	
		100°С	50°С	-40°С		Заст.	Вспыш.
1.	31.1	3.87	11.87	5469.8	146.7	-58	232
2.	42.7	4.47	14.38	8300.4	143.6	-56	242
3.	50.2	5.14	17.42	10406.6	138.0	-50	244

Таким образом, путем химической модификации можно, повышая вязкость при 100°С, максимально сохранить удовлетворительную низкотемпературную текучесть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамедьяров М.А. Химия синтетических масел. Л.:Химия. 1989.236с.
2. Гундерсон Р.С., Харт А.В. Синтетические смазочные материалы и жидкости. /Пер. с англ. под ред. Виноградова Г.В. М.: Химия. 1965. 385с.
3. Ripple D.E. Fuhrmann J.F. /Journal of synthetic Lubrication. 1989. 6. №3. P.209
4. Coffin P.S., Lingsau P.M., Miels A.J. et al. /Journal of synthetic Lubrication. 1990. 7. №2. P. 143
5. Kenbesk D., Van der Waal G. /Journal of synthetic Lubrication. 1988. 5. №3. P. 215
6. Белов П.С., Виппер А.Б. и др. Производство и применение моторных масел на синтетической основе. М.: ЦИНИИЭнефтехим. 1979. 45с.
7. Madhusudhana Rao A., Srivastava S.P., Mehta K.S. /Journal of synthetic Lubrication. 1987. V.4. № 2. P.137
8. Фукс И.Г., Лашки В.Л. /Химия и технология топлив и масел. 1990. №3. С.16
9. Пат. №1814284 РФ. RU Б.И.№15. 1997
10. Мамедьяров М.А., Алиева Ф.Х. /Химия и технология топлив и масел. 1994. №4. С.26
11. Мамедьяров М.А., Алиева Ф.Х. /Процессы нефтехимии и нефтепереработки. 2000. №1. С.40
12. Алиева Ф.Х., Мамедьяров М.А. /Нефтехимия. 2008. № 3 Т.48. С.238