

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХСТАДИЙНОГО ПОЛУЧЕНИЯ АЦЕТОКСИМЕТИЛ-ВТОР.ГЕКСИЛ-О-КСИЛОЛА В КАЧЕСТВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ
Абдуллаева М.Я.¹, Юсубов Ф.В.² Email: Abdullayeva633@scientifictext.ru

¹Абдуллаева Майя Ядигар - доцент, кандидат химических наук;
²Юсубов Фахраддин Вели – профессор, доктор технических наук,
кафедра нефтехимической технологии и промышленной экологии,
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация: статья посвящена определению оптимальных параметров трехстадийного синтеза ацетоксиметил-втор.гексил-о-ксилола в качестве перспективного заменителя натурального касторового масла в силовых конденсаторах. Оптимальные параметры синтеза сложного эфира найдены на основе построенной регрессионной модели процесса. В полученной нами регрессионной модели трехстадийного процесса проведена оптимизация и найдены оптимальные параметры. На основе разработанной математической модели была составлена программа для решения задачи оптимизации методом Гаусса-Зейделя.

Ключевые слова: силовые конденсаторы, втор.гексил-о-ксилол, диэлектрическая жидкость, метод планирования экспериментов, математическая модель.

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF TREE-STAGED OBTAINING OF ACETOXY METHYL-SEC.HEXYL-ORTH-OXYLOL AS DIELECTRIC LIQUIDS FOR IMPULSE CONDENSATORS

Abdullayeva M.Ya.¹, Yusubov F.V.²

¹Abdullayeva Maya Yadiqar - PhD in Chemical sciences;
²Yusubov Fahraddin Veli - Professor, Doctor of Technical Sciences,
DEPARTMENT TECHNOLOGY OF OIL AND INDUSTRY ECOLOGY
AZERBAIJAN STATE OIL AND INDUSTRY UNIVERSITY,
BAKU, REPUBLIC OF AZERBAIJAN

Abstract: the article concerns the determination of the optimal parameters of the three-stage synthesis of acetoxymethyl-sec.hexyl-ortho-xylol as an impregnant in power capacitors. Optimum parameters of synthesis of the ester are found on the basis of the constructed regression model of the process. The obtained regression model of the three-stage process by us is optimized and optimum parameters are found. A program was developed to solve the Gauss-Seidel optimization problem on the basis of the developed mathematical model.

Keywords: power capacitors, sec.hexyl-ortho-xylol, dielectric liquids, method of experiment planning, mathematical model.

УДК 547.27.537.26

Известно, что в силовых и импульсных конденсаторах во всех странах мира в качестве пропитывающегося вещества используется в основном натуральное касторовое масло. Однако, ограниченность природного касторового масла вызывает острую необходимость получения синтетических заменителей. Разработка заменителя натурального касторового масла, являющегося универсальной пропитывающей жидкостью в конденсаторах, – насущная проблема электротехнической промышленности.

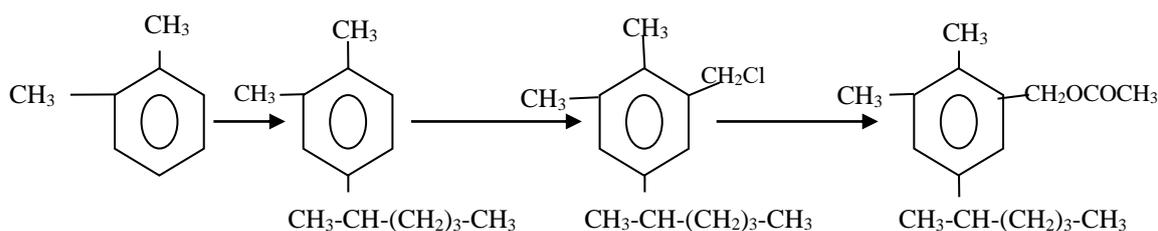
Касторовое масло - триглицерид рицинолевой кислоты, несмотря на трудность очистки и достижения необходимой термостабильности, используется в пленочных силовых конденсаторах переменного тока низкого напряжения в США, Японии, Италии и других странах [1, 2].

В связи с повсеместным отказом в электротехнике от полихлорбифенилов (ПХБ), являющихся экологически опасными соединениями, в пользу касторового масла, осуществлен трехстадийный синтез ацетоксиметил-втор.гексил-о-ксилола, представляющего интерес в качестве потенциального заменителя касторового масла

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Процесс получения ацетоксиметил-вт.гексил-о-ксилола состоит из трех стадий: алкилирования, хлорметилирования и ацетоксилирования

Химическая схема ацетоксиметил-втор.гексил-о-ксилола состояла в следующем:



В соответствии с задачей требовалось обеспечить на каждой стадии синтеза сложного эфира максимально возможную высокую чистоту и выход продуктов реакции. В этой связи был использован в качестве алкилирования комплекс $\text{AlCl}_3 \cdot \text{CH}_3\text{NO}_2$, проявляющий высокую селективность.

В таблице 1. представлены материальные балансы процессов алкилирования о-ксилола гексенем-1 в присутствии различных катализаторов. Наибольшая селективность по целевому продукту, наблюдается, при использовании катализаторов $\text{AlCl}_3 \cdot \text{CH}_3\text{NO}_2$ конверсия олефина составляет 100%. Реакция, в присутствии раствора хлорида алюминия в нитрометане, является достаточно селективной по алкил-о-ксилолу, а образование значительного количества продуктов деалкилирования, полиалкилирования при различной конверсии олефина не отмечалось.

Таблица 1. Материальный баланс процесса алкилирования о-ксилола гексенем-1 в присутствии различных катализаторов

№	Сырье, продукты, показатели	Катализатор			
		H_2SO_4	AlCl_3	$\text{AlCl}_3 \cdot \text{CH}_3\text{NO}_2$	$\text{AlCl}_3 \cdot \text{HCl}$
		Взято			
1	2	3	4	5	6
1	о-ксилол, г	318	318	318	318
2	гексен-1, г	42	42	42	42
3	алюминий-хлорид, г	-	10	-	6,7
4	H_2SO_4 92%-ная, г	12,5	-	-	-
5	нитрометан, г	-	-	28	-
	Итого, г	372,5	370	398	366,7
		Получено			
6	о-ксилол, г	258	271	275	282,8
7	гексен-1, г	-	-	-	-
8	алюминий-хлорид, г	-	7,2	9,1	5,2
9	H_2SO_4 92%-ная, г	5,4	-	-	-
0	1 нитрометан, г	-	-	26	-
1	1 Вт.гексил-о-ксилол, г	64	57	82	71,25
2	1 поли-алкил-о-ксилолы, г	21,3	28,8	2,4	6,2
3	1 потери, г	23,7	6,0	3,5	2,0
4	1 итого, г	372,5	370	398	366,7
5	1 Конверсия олефина, % масс.	100	100	100	100
6	1 Селективность, % масс.	67,4	56,8	86,2	75
7	1 Температура, $^{\circ}\text{C}$	20	25	50	50
8	1 0-ксилол: гексен-1, моль	6	6	6	6
9	1 катализатор: гексен-1, моль	0,20	0,15	0,15	0,15
0	2 время реакции, час	6,0	4,0	3,0	2,0

Методами математической статистики указанные процессы оптимизированы по параметрам [3-8].

В работе, пользуясь методом планирования экспериментов [9], приведены исследования по синтезу сложного эфира в качестве пропитывающего вещества с целью построения регрессионной математической модели и на основе ее оптимизации. На основе проведенных нами многочисленных экспериментов были определены основные входные и выходные параметры исследуемого процесса. Основным выходным параметром процесса выход втор.гексил-о-ксилола- y_i . Факторами, влияющими на выходные параметры процесса, являются X_1 - температура процесса, X_2 - время реакции, X_3 - количество катализатора. В таблице 2 даны основные уровни факторов и пределы их изменений.

Таблица 2. Основные уровни факторов и пределы их изменений

Наименования	Натуральные значения факторов		
	X_1	X_2	X_3
Основной уровень	50	2	0.15:0.45
Пределы изменения	2	0.1	0.01
Низший предел изменения	40	1	0.2:0.5
Верхний предел изменения	60	3	0.1:0.4

Для исследования реакции алкилирования о-ксилола с гексенем-1 в присутствии катализатора $AlCl_3 \cdot CH_3NO_2$ методом планирования экспериментов был использован так называемый рототабельный план. При исследовании на лабораторной установке была составлена матрица планирования и по рототабельному плану проведены эксперименты, результаты которых приводятся в таб. 3.

Зависимость каждого выходного параметра процесса y_i - от выходных факторов X_j ($j=1,3$) представим в следующем полиноминальном виде:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 \quad (1)$$

где - X_1 - факторы процесса, b – оценки коэффициентов уравнений регрессии, характеризующие линейные эффекты и эффекты взаимодействия.

Таблица 3. Планирование опытов получение алкил-втор.ксилола алкилированием о-ксилола гексенем-1 в присутствии катализатора $AlCl_3 \cdot CH_3NO_2$

№	X_0	Кодированные значения			Натуральные значения			У теор.	У прак.
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3		
1	+1	+1	+1	+1	60	3	0,1:0,4	56,1	57,2
2	+1	-1	+1	+1	40	3	0,1:0,4	59,8	60,5
3	+1	+1	-1	+1	60	1	0,1:0,4	62,4	65,4
4	+1	-1	-1	+1	40	3	0,1:0,4	70,2	71,25
5	+1	+1	+1	-1	60	3	0,2:0,5	69,7	70,1
6	+1	-1	+1	-1	40	3	0,2:0,5	63,5	65,7
7	+1	+1	-1	-1	60	1	0,2:0,5	64,7	66,2
8	+1	-1	-1	-1	40	1	0,2:0,5	69,4	70,5
9	+1	+1,215	0	0	72,9	2	0,15:0,45	70,3	71,8
10	+1	-1,215	0	0	38,8	2	0,15:0,45	70,7	71,2
11	+1	0	+1,21	0	50	3,6	0,15:0,45	71,9	72,27
12	+1	0	-1,215	0	50	1,4	0,15:0,45	72,7	73,3
13	+1	0	0	+1,215	50	2	0,24:0,61	83,0	82,1
14	+1	0	0	-1,215	50	2	0,096:0,30	82,8	83,4
15	+1	0	0	0	50	2	0,15:0,45	81,1	80,6

Коэффициенты уравнений регрессий были определены нами по известной формуле (1)

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ji} Y_i}{N}, \quad (2)$$

Где - коэффициенты уравнений (1); N- общее количество проведенных опытов; X_j - кодированные и натуральные значения основных факторов процесса.

Получены следующие коэффициенты уравнений регрессии:

$$b_0 = 83.253, b_1 = 0.020, b_2 = -1.50, b_3 = 0.210, b_{12} = -0.005, b_{13} = 0.061,$$

где -

$$b_{23} = -0.730, b_{123} = 0.021, b_{11} = -0.00018, b_{22} = 0.017, b = -4.60$$

На основе расчета, проведенного по формуле (2), получено следующее регрессионное уравнение:

$$Y = 83.253 + 0.02X_1 - 0.150X_2 + 0.21X_3 - 0.005X_1X_2 + 0.061X_1X_3 - 0.073X_2X_3 - 0.0021X_1X_2X_3 + 0.021X_1X_2X_3 + 0.017X_2^2 - 4.6X_3^2 \quad (3)$$

Далее проводился статистический анализ полученного регрессионного уравнения (3):

- ошибки опытов;
- значимость коэффициентов уравнений регрессий (3);
- адекватность модели (3) к исследуемому процессу.

Ошибки опытов определяются по формуле

$$S_{\text{оп}}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1} (\bar{y}_k - y_{\text{оп}})^2 = 0,00483 \quad (4)$$

Где - \bar{y}_k - среднее значение параллельных опытов; m- количество параллельных опытов.

Регрессионное уравнение приобретает следующий вид:

$$Y = 83.253 + 0.02X_1 - 0.150X_2 + 0.21X_3 - 0.005X_1X_2 + 0.061X_1X_3 - 0.073X_2X_3 - 0.0021X_1X_2X_3 + 0.021X_1X_2X_3 + 0.017X_2^2 - 4.6X_3^2 \quad (5)$$

Коэффициенты b_1 и b_{123} незначимы.

В результате по формуле (5) исследуемого процесса, по критерию Фишера $S_{\text{оп1}}^2 = 0.32$ получаем:

$$F = S_{\text{ост}}^2 q / S_{\text{оп}}^2 = 1.14 / 0.32 = 3.56$$

Если $p = 0.05, f_1 = 1, f_2 = 3, F_{1-p}(1,3) = 10.10$, тогда: $F < F_{1-p}(f_1, f_2)$, тогда $3,56 < 10.1$

Отсюда можно сделать вывод, что составленная математическая модель процесса алкилирование о-ксилола гексеном-1 предлагаемым катализатором адекватно описывает исследуемый процесс.

На основе разработанной математической модели была составлена программа для решения задачи оптимизации методом Гаусса-Зейделя.

В результате решения задачи были найдены оптимальные режимные условия для получения алкилата, а также условия, при которых достигается оптимальный режим алкилирования. Максимальные выходные параметры оказались равными 83.016%, а значения параметров, обеспечивающих оптимальность этого условия, следующие:

Максимальный выход: $Y_{\text{вых}} = 83.016$

Температура процесса, °C. $Z_1 = 50.8$

Время реакции, ч. $Z_2 = 2$

Количество катализатора $AlCl_3 \cdot CH_3NO_2$, г $Z_3 = 0.24 : 0,61$

Для исследования из различных модификаций реакции хлорметилирования (таб. 4) была выбрана методика ее проведения в растворе уксусной кислоты в присутствии катализатора хлорида цинка как высокоэффективной и селективной применительно к алкилароматическим субстратам повышенной молекулярной массы.

Таблица 4. Основные уровни факторов и пределы их изменений

Наименования	Натуральные значения факторов		
	X ₁	X ₂	X ₃
Основной уровень	60	4	0.70:0.20
Пределы изменения	2	0.5	0.01
Нижний предел изменения	50	3	0.40:0.15
Верхний предел изменения	70	5	1.0:0.25

Для реакции хлрметилирования втор.гексил о-ксилола с соляно-кислыми растворами параформа в уксусной кислоте в присутствии хлорида цинка методом планирования экспериментов был использован так называемый рототабельный план. При исследовании на лабораторной установке была составлена

матрица планирования и по рототабельному плану проведены эксперименты, результаты которых приводятся в таб. 5.

Таблица 5. Планирование опытов получения монохлорметил-втор.ксилола хлорметилированием втор.гексил-ксилола параформам в присутствии катализатора $ZnCl_2$

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	У теор.	У прак.
		код.	код.	код.	нат.	нат.	нат.		
1	+1	+1	+1	+1	70	5	1:0,25	54,5	56,8
2	+1	-1	+1	+1	50	5	1:0,25	53,7	52,0
3	+1	+1	-1	+1	70	3	1:0,25	56,2	50,44
4	+1	-1	-1	+1	50	3	1:0,25	45,0	44,8
5	+1	+1	+1	-1	70	5	0,4:0,15	48,0	50,4
6	+1	-1	+1	-1	50	5	0,4:0,15	53,5	55,2
7	+1	+1	-1	-1	70	3	0,4:0,15	56,3	58,3
8	+1	-1	-1	-1	50	3	0,4:0,15	47,3	43,2
9	+1	+1,215	0	0	85,0	4	0,7:0,2	70,2	66,2
0	+1	-1,215	0	0	54,9	4	0,7:0,2	57,0	61,2
1	+1	0	+1,21	0	60	6,07	0,7:0,2	77,0	78,9
2	+1	0	-1,215	0	60	2,92	0,7:0,2	77,8	78,5
3	+1	0	0	+1,21	60	4	1,215:0,3	77,5	77,3
4	+1	0	0	-1,215	60	4	0,79:0,15	75,8	75,5
5	+1	0	0	0	60	4	0,7:0,2	75,0	74,8

Получены следующие коэффициенты уравнений регрессии:

$$b_0 = 80.0, b_1 = 0.036, b_2 = -0.048, b_3 = 3.03, b_{12} = -0.0057, b_{13} = 0.069,$$

где -

$$b_{23} = -0.64, b_{123} = 0.028, b_{11} = -0.00021, b_{22} = 0.092, b = -3.05$$

На основе расчета, проведенного по формуле (2), получено следующее регрессионное уравнение:

$$Y = 80.0 + 0.036X_1 - 0.048X_2 + 3.03X_3 - 0.0057X_1X_2 + 0.0069X_1X_3 - 0.64X_2X_3 + 0.0028X_1X_2X_3 + 0.00021X_1X_2X_3 + 0.092X_2^2 - 3.05X_3^2 \quad (6)$$

Далее проводился статистический анализ полученного регрессионного уравнения (3):

На основе критерия Стьюдента получаем

$$(t_j = \frac{b_i}{S_{b_j}} = t_j S_b = 2,1603, \quad (7)$$

где t меняется обычно от 2 до 3. В результате проверки значимости коэффициентов уравнений регрессии, по формуле (6) регрессионное уравнение приобретает следующий вид:

$$Y = 80.0 + 0.036X_1 + 3.03X_3 - 0.0057X_1X_2 - 0.64X_2X_3 + 0.0028X_1X_2X_3 + 0.0021X_1^2 + 0.092X_2^2 - 3.05X_3^2 \quad (8)$$

В результате по формуле (8) исследуемого процесса, по критерию Фишера $S_{оп}^2 = 0.27$ получаем:

$$F = S_{ост}^2 q / S_{оп}^2 = 1,29 / 0.27 = 4.77$$

Если $p = 0.05, f_1 = 1, f_2 = 3, F_{1-p}(1,3) = 10.10$, тогда: $F < F_{1-p}(f_1, f_2)$, тогда $4,77 < 10.1$

Отсюда можно сделать вывод, что составленная математическая модель процесса хлорметилирование втор.гексил-о-ксилола предлагаемым катализатором адекватно описывает исследуемый процесс.

На основе разработанной математической модели хлорметилирования была составлена программа для решения задачи оптимизации методом Гаусса-Зейделя.

В результате решения задачи были найдены оптимальное режимное условия для получения алкилата, а также условия, при которых достигается оптимальный режим хлорметилирование. Оптимальные

выходные параметры оказались равными 78.52%, а значения параметров, обеспечивающих оптимальность этого условия, следующие:

Температура процесса, °С. $Z_{opt} = 60.9$

Время реакции, ч. $Z_{opt} = 4,83$

Количество катализатора $ZnCl_2 \cdot CH_2O$, г $Z_{opt} = 0,45$

Максимальный выход: $Y_{вых} = 78.52$

Исследовали некаталитическую реакцию взаимодействия хлорметил-втор.гексил-о-ксилола с ацетатом натрия в растворе уксусной кислоты, а также каталитическое ацетоксилирование в присутствии катализатора Макоши.

Традиционно применяемые в процессе ацетоксилирования уксусная кислота выполняет функции гомогенизатора, облегчает теплосъем, ускоряет реакцию. Однако, в дальнейшем CH_3COOH отмывается, образуя большое количество кислых стоков, ухудшая экологическую обстановку.

Проведением реакции в условиях межфазного катализа удастся увеличить выход целевого продукта, ликвидировать стоки, отказаться от применения достаточно дефицитной уксусной кислоты. Процесс ацетоксилирование монохлорметил-втор.гексил-о-ксилола в присутствии катализатора Макоши, проведенные при найденных оптимальных режимных условиях, полностью подтвердили достоверность полученных результатов.

Для реакции ацетоксиметилирование монохлорметил-втор.гексил о-ксилола в присутствии катализатора Макоши методом планирования экспериментов был использован рототабельный план [6]. При исследовании на автоклавной установке была составлена матрица планирования и по рототабельному плану проведены эксперименты, результаты которых приводятся в таб. 6.

Таблица 6. Основные уровни факторов и пределы их изменений

Наименования	Натуральные значения факторов		
	X ₁	X ₂	X ₃
Основной уровень	60	100	0.12
Пределы изменения	2	5	0.01
Низший предел изменения	50	90	0.10
Верхний предел изменения	70	110	0.14

Таблица 7. Планирование опытов получения ацетоксиметил-втор.гексил-о-ксилола ацетоксилированием монохлорметил-втор.гексил-ксилола ацетатом натрия в присутствии катализатора Макоши

№	X ₀	Кодированные значение			Натуральные значение			У теор.	У прак.
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃		
1	+	+1	+1	+1	70	110	0,014	88,2	89,8
2	+	-1	+1	+1	50	110	0,014	89,4	90,4
3	+	+1	-1	+1	70	90	0,014	91,3	92,6
4	+	-1	-1	+1	50	90	0,014	92,6	93,7
5	+	+1	+1	-1	70	110	0,010	88,9	88,5
6	+	-1	+1	-1	50	110	0,010	95,1	95,6
7	+	+1	-1	-1	70	90	0,010	93,7	94,9
8	+	-1	-1	-1	50	90	0,010	94,9	95,2
9	+	+1,215	0	0	85,0 5	100	0,012	95,7	96,0
10	+	-1,215	0	0	54,9 5	100	0,012	93,0	92,0
11	+	0	+1,21 5	0	60	133,6 5	0,012	92,5	93,5
12	+	0	-1,215	0	60	66,35	0,012	93,9	94,7

	1								
13	+	0	0	+1,21	60	100	0,0017	88,9	89,4
	1			5					
14	+	0	0	-1,215	60	100	0,007	87,6	88,5
	1								
15	+	0	0	0	60	100	0,012	89,9	90,9
	1								

Получены следующие коэффициенты уравнений регрессии:

$$b_0 = 101.0, b_1 = 0.079, b_2 = -0.028, b_3 = 45.4, b_{12} = -0.00076, b_{13} = 0.55,$$

где -

$$b_{23} = -0.0983, b_{123} = 0.0004, b_{11} = -1.96, b_{22} = 0.00018, b = -20.47$$

На основе расчета, проведенного по формуле (2), получено следующее регрессионное уравнение:

$$Y = 101.0 + 0.079X_1 - 0.028X_2 + 45.4X_3 - 0.0076X_1X_2 + 1.55X_1X_3 - 0.0983X_2X_3 - 0.0003X_1X_2X_3 + 0.0004X_1^2 + 0.00018X_2^2 - 20.47X_3^2 \quad (9)$$

На основе критерия Стьюдента

$$(t_j = \frac{b_i}{S_{b_j}} = t_j S_b = 2,1603, \quad (10)$$

где t меняется обычно от 2 до 3. В результате проверки значимости коэффициентов уравнений регрессии, по формуле (6) регрессионное уравнение приобретает следующий вид:

$$Y = 101.0 + 0.079X_1 - 0.028X_2 + 45.4X_3 - 0.0076X_1X_2 + 1.55X_1X_3 - 0.0983X_2X_3 - 0.0003X_1X_2X_3 + 0.0004X_1^2 + 0.00018X_2^2 \quad (11)$$

Для проверки адекватности составленной математической модели к исследуемому процессу остается вычислить дисперсию адекватности.

В результате по формуле (11) исследуемого процесса, по критерию Фишера $S_{оп}^2 = 0.27$ получаем:

$$F = S_{ост}^2 / S_{оп}^2 = 1.36 / 0.27 = 5.03$$

Если $p = 0.05, f_1 = 1, f_2 = 3, F_{1-p}(1,3) = 10.10$, тогда: $F < F_{1-p}(f_1, f_2)$, тогда $5.03 < 10.1$

Отсюда можно сделать вывод, что составленная математическая модель процесса хлорметилирование втор.гексил-о-ксилола предлагаемым катализатором адекватно описывает исследуемый процесс.

На основе разработанной математической модели очистки была составлена программа для решения задачи оптимизации методом Гаусса-Зейделя.

В результате решения задачи были найдены оптимальное режимное условия для получения сложного эфира, а также условия, при которых достигается оптимальный режим ацетоксиметилирования. Оптимальные выходные параметры оказались равными 97.465%, а значения параметров, обеспечивающих оптимальность этого условия, следующие:

$$\text{Максимальный выход: } Y_{вых} = 97.465$$

$$\text{Время реакции, мин. } Z_1 = 70.2$$

$$\text{Температура процесса, } ^\circ\text{C. } Z_2 = 118.9$$

$$\text{Количество катализатора Макоши, г } Z_3 = 0.012$$

Далее нами проводился статический анализ полученной системы регрессионных уравнений (12). С этой целью определились следующие величины:

а) ошибка опытов;

б) адекватность модели (18) к исследуемому процессу.

Ошибку опытов определяли по формуле(4). Для исследуемого процесса:

$$S_{оп1}^2 = 0.32; \quad S_{оп2}^2 = 0.27; \quad S_{оп3}^2 = 0.27$$

В результате проверки значимости коэффициентов уравнений регрессий по формуле (6), система регрессионных уравнений приобретает вид (12):

$$Y = 83.253 + 0.02X_1 - 0.150X_2 + 0.21X_3 - 0.005X_1X_2 + 0.061X_1X_3 - 0.073X_2X_3 - 0.0021X_1X_2X_3 + 0.021X_1X_2X_3 + 0.017X_2^2 - 4.6X_3^2$$

$$\begin{aligned}
Y &= 80.0 + 0.036X_1 + 3.03X_3 - 0.0057X_1X_2 - 0.64X_2X_3 + 0.0028X_1X_2X_3 \\
&+ 0.0021X_1^2 + 0.092X_2^2 - 3.05X_3^2 \\
Y &= 101.0 + 0.079X_1 - 0.028X_2 + 45.4X_3 - 0.0076X_1X_2 + 1.55X_1X_3 - 0.0983X_2X_3 \\
&- 0.0003X_1X_2X_3 + 0.0004X_1^2 + 0.00018X_2^2
\end{aligned}
\tag{12}$$

Таким образом, составленная математическая модель процесса получения ацетоксиметил-вт.гексил-о-ксилола, выраженная системой регрессионных уравнений (12), адекватно описывает исследуемый процесс.

В результате решения задачи было найдено оптимальное режимное условие протекания процесса получения ацетоксиметил-вт.гексил-о-ксилола, а также условий, при которых достигается максимальный выход режим протекания процесса алкилирование о-ксилола с гексеном, хлорметилорание втор.гексил-о-ксилола и ацетоксиметилирование хлорметил-втор.гексил-о-ксилола :

- а) алкилирование о-ксилола с гексеном:
 - температура процесса $X_1 = 50.8$
 - время реакции $X_2 = 2.94$
 - количество катализатора $X_3 = 0.24:0.61$
- б) хлорметилорание втор.гексил-о-ксилола в присутствии катализатора:
 - температура процесса $X_1 = 60.8$
 - время реакции $X_2 = 4.9$
 - количество катализатора $X_3 = 0.45:0.2$
- с) ацетоксиметилирование хлорметил-втор.гексил-о-ксилола:
 - температура процесса $X_1 = 70$
 - время реакции $X_2 = 118.9$
 - количество катализатора $X_3 = 0.012$

Опыты, проведенные при найденных оптимальных режимных условиях, полностью подтвердили достоверность получаемых результатов.

Процесс ацетоксиметилирование хлорметил-втор.гексил-о-ксилола ацетатом натрия в присутствии катализатора Макоши, проведенные при найденных оптимальных режимных условиях, полностью подтвердили достоверность полученных результатов.

Полученный продукт не уступает по электрофизическим показателям стандартной диэлектрической жидкости табл. 8. Свойства синтезированного ацетоксиметил-вт.гексил-о-ксилола:

$T_{\text{кип.}} -160-165^{\circ}\text{C} / 4 \text{ мм рт.ст.}; n_{\text{D}}^{20} 1,5100; d_{40}^{20} 0,963; M_{\text{крис.}} 261,$
элементный состав: C 77,68; H 9,80; O 12,52% масс., преобладает изомер 1, 2, 3, 5.

Таблица 8. Физико-химические и электрофизические показатели диэлектрической жидкости ацетоксиметил-втор.гексил-о-ксилола

Показатели	Условия синтеза	
	в среде уксусной кислоты	в условиях МФК
1	2	3
Плотность, г/см ³	0,983	0,963
Вязкость при температуре 20 ⁰ С, сСТ	18	18
Температура застывания, ⁰ С	-42	-42
Температура кипения, ⁰ С	345-350	345-350
Температура вспышки, ⁰ С	162-163	163
Диэлектрическая проницаемость:		
при 20 ⁰ С	5,10	5,20
при 90 ⁰ С	4,30	4,28
при 90 ⁰ С через 48 часов	4,30	4,28
Тангенс угла диэлектрических потерь:		
при 25 ⁰ С	0,002	0,002
при 90 ⁰ С	0,025	0,023
при 90 ⁰ С через 48 часов	0,022	0,023

ВЫВОДЫ

В представленной статье можно сделать следующие выводы:

были изучены оптимальные параметры получения синтетического заменителя натурального касторового масла и найдены оптимальные условия построения регрессионной математической модели трех стадийного процесса.

Проведенные опыты показали, что найденный оптимальный режим полностью подтверждает достоверность полученных результатов.

Список литературы / References

1. *Molodova L.A.* Research and development of electro isolation materials to increase reliability and resource of impulse compensators // М., 1990. P. 127.
2. *Duviychil O.Y., Rudakov V.V.* Experimental definition of rebiability of condensators section with paper-castor isolation // Electromechanics and electrotechnics . М., 2006. № 1. P. 71-75.
3. *Shaw D.G.*, Spragul Electric Co. Method of imprednating a caracitor. Patent 41175798.09.91.
4. *Pakhomov A.N., Konovalov V.I.* Modelling basis of chemico-technological system // Tambov University, 2008. P. 80.
5. *Akhmazarova S.L., Kafarov V.I.* Optimization of the experiment in chemistry and chemical technology // М., 2004. № 1. P. 41-42.
6. *Abomelik T.P.* Methodology of experiment planning: methodic guide to laboratory works: Ul.STU, Ulyanovsk, 2011. P. 78.
7. *Klimushov N.K.* Planning and carrying out of scientific experiment in the wooden industry, methodical requirements Ukhta: USTU, 2008. P. 160.
8. *Rebrova I.A.* Experiment planning; training aid. Sib ADI. Omsk, 2010. P. 105.
9. *Lubchenko E.A., Chudnova O.A.* Planning and organization of the experiment, training aid: part 1. Vladivastok. TSEU, 2010. P. 156.