

РАСЧЁТ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИРОВ ПО ИХ ТРИАЦИЛГЛИЦЕРОЛЬНОМУ СОСТАВУ

Мазаева В. С., Демидов И. Н., Голодняк В. А. Оноприенко Т. А.

1. Введение

Главным компонентом жиров (как правило, более 95 %) составляют триацилглицеролы. Триацилглицерольный, а, следовательно, и жирнокислотный состав жиров имеет большое значение для свойств пищевых продуктов, содержащих жиры [1, 2].

Для получения жировых продуктов с заданными физическо-химическими и органолептическими свойствами необходимо учитывать соотношение твёрдых и жидких жиров в рецептурах жировых продуктов. Физико-химические свойства жиров влияют на структуру, стабильность, органолептические характеристики и товарный вид готовой жиросодержащей продукции.

Состав рецептур жировых продуктов для различных отраслей пищевой промышленности зависит от множества факторов. Состав может быть различным, в зависимости от области применения, технологического процесса, применяемого оборудования и множества других особенностей, а также в зависимости от требований заказчика. В настоящее время разрабатываются рецептуры жиров под определенный продукт, для обеспечения необходимых качественных характеристик готовой продукции. Однако разработка жиров общего назначения предполагает создание жировых смесей с большим спектром физико-химических показателей [3]. Это не всегда удается, потому что жиры из-за полиморфизма способны существовать в разных кристаллических формах, из которых основными являются α , β и β' в зависимости от температур фазовых переходов [4]. Профиль плавления жировых кристаллов играет ключевую роль в определении структурных и органолептических свойств. Поэтому работы по получению жиров с заданными свойствами, ведутся давно и являются приоритетными в жировой промышленности. В основном, усилия направлены на создания рецептур различных жиров, таких как кулинарные, кондитерские, жировые основы маргаринов и др. Но так как рынок сырья ограничен и все время меняется, то прежние рецептуры утрачивают свое значение и возникает необходимость в разработке новых [5].

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования является жировые основы маргаринов с заданными свойствами, для создания которых необходимо иметь исходные данные о трех взаимосвязанных между собой множествах. Этими данными в первую очередь становится набор сырьевых компонентов, из которого можно создать жировые основы или же исходные компоненты смеси. Вторым источником данных являются физико-химические показатели этого сырья или жировых основ. Третьим источником – триацилглицерольный (ТАГ) состав сырья или же смеси. Это, по сути, перечень всех ТАГ, которые существуют в природе. Так

как количество видов жирового сырья для создания жировых основ ограничено, то все последующие данные тоже конечны.

При создании определенной жировой основы конкретного вида жировой продукции необходимо знать физико-химические показатели исходных жиров. Это даёт возможность предполагать, из каких жиров можно получить жировую основу для конкретного вида жировой продукции. ТАГ состав этих жиров колеблется в достаточно узких пределах зависимости от производителя, а также от особенностей технологического процесса производства.

ТАГ состав рецептур жировых основ недостаточно изучен. Главное же то, что не выявлены закономерности, которые связывают ТАГ. Выявление таких закономерностей позволит ускорить процесс коррекции состава жировых основ для маргарина с использованием нового жирового сырья и новых (расчётных) методов.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработка методов расчёта сырьевого состава жировых рецептур для разных видов жировой продукции.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Определить ТАГ состав жиров и полученных смесей.
2. Установить зависимость между ТАГ составом и физико-химическими свойствами смесей с использованием симплекс-решетчатого плана Шеффе третьего порядка для трехкомпонентной смеси.
3. Экспериментально показать возможность создания жировых продуктов с заданными свойствами путём использования данных о ТАГ составе жирового сырья.

4. Исследование существующих решений проблемы

Исследования, проведенные в Европе, показывают, что состав компонентов жировых композиций существенно изменился за последние два десятилетия из-за удаления гидрированных растительных масел, которые содержат транс-жиры, полученные при промышленном гидрировании [6, 7]. Сокращение транс-жиров в пищевых продуктах в Европе было в основном достигнуто благодаря отраслевым инициативам. В Америке значительные изменения в составе жировых продуктов за последние 10 лет были ускорены инициативами, направленными на ограничение содержания транс-жиров, с указанием их количества при нанесении маркировки на пищевые продукты, а также запрет использования этих транс-жиров в ресторанном бизнесе [8, 9]. Несмотря на внимание к транс-жирам в пищевых продуктах, достоверные данные по жировому составу продукции на американском рынке ограничено [10, 11].

Устойчивая жировая композиция представляет собой суспензию кристаллизационно-коагуляционной структуры, у которой непрерывной средой является фракция жидкого жира. Фаза жидкого жира в твердой структуре обеспечивает высокую пластичность композиций. Поэтому в работе [12] ведутся исследования по изучению сложности строения жировых композиций и определения структурно-механических свойств.

В Украине проводились исследования [13] по составлению жировых основ с заданными свойствами по неполному жирнокислотному составу переэтери-

фицированных жиров, для этого использовалось всего (6÷7) основных жирных кислот исходных жиров. При этом были получены алгоритмы расчета для температуры плавления и твердости по Каминскому.

В работе [14] были получены диаграммы состав-свойство для содержания компонентов в смеси и предложено объединять в группы жирные кислоты с одинаковыми физическими свойствами. На основании этого получали жировые основы с заданными свойствами для переэтерифицированных жиров.

Также проводились исследования [15] по определению основных ТАГ в чистых жирах и маслах. Установлено, что в изученных жирах, количество ТАГ, составляющих более 80 % от их общего содержания в жире, не превышает 6÷8 в зависимости от масла или жира.

Исходя из того, что жировые смеси можно составлять по ЖК составу, можно ожидать, что это возможно делать и исходя из ТАГ состава, но уже вне зависимости подвергалась смесь переэтерификации или нет. Поскольку ТАГ состав однозначно связан со свойствами жировой смеси, то такая методология разработки должна давать более точные результаты.

Следует отметить, что не существует функциональной связи между сырьем и физико-химическими показателями жировых основ. Так как от партии к партии может отличаться ТАГ состав компонент смеси, даже при соответствии их требованиям нормативной документации. Для того чтобы составить рецептуру жирового продукта, необходимо знать физико-химические показатели, которые характеризуют этот жировой продукт и сырьевых жировых компонентов.

5. Методы исследования

На сегодняшний день успешно применяются методы математического планирования эксперимента для систем, являющихся смесями различных компонентов. Такое планирование эксперимента исключает слепой поиск и значительно сокращает число опытов, следовательно, затраты и сроки проведения эксперимента, дает возможность получить количественные оценки влияния факторов в виде математические модели.

Впервые задача построения математической модели состав-свойство, включающей все компоненты системы была решена Шеффе, который ввел каноническую форму полинома степени n :

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \chi_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^n \beta_{ij} \cdot \chi_i \cdot \chi_j,$$
$$y = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \chi_i + \sum_{i < j}^n \beta_{ij} \cdot \chi_i \cdot \chi_j + \sum_{i < j}^n \gamma_{ij} \chi_i \chi_j (\chi_i - \chi_j) + \sum_{i < j < l} \beta_{ijl} \chi_i \chi_j \chi_l, \quad (1)$$

где $\chi_i \chi_j \chi_l$ – концентрации соответствующих компонентов; β и γ – рассчитанные коэффициенты регрессии.

Полиномы такого вида (так называемые приведенные полиномы) получаются из обычных полиномов соответствующей степени для q переменных ве-

дением соотношения (2) и содержат C_{q+n-1}^n коэффициентов. Кроме того, независимые переменные в (1) должны удовлетворять условию нормировки:

$$\sum_{1 \leq i \leq q} x_i = 1. \quad (2)$$

Для оценки коэффициентов приведенного полинома были предложены планы, обеспечивающие равномерный разброс экспериментальных точек по $(q-1)$ -мерному симплексу. Точками таких планов являются узлы $\{q,n\}$ -симплексных решеток. В $\{q,n\}$ -решетке для каждого фактора (компонента) используется $n=1$ равнорасположенных уровней в интервале от 0 до 1 ($x_i=0, 1/n, 2/n, \dots, 1$) и берутся все возможные их комбинации [16].

Поэтому для изучения физико-химических показателей смеси был выбран симплекс-решетчатый план Шеффе третьего порядка для трехкомпонентной смеси. В эксперименте использовались такие жиры, как: пальмовый олеин (рафинированный, дезодорированный согласно ДСТУ 4438:2005), пальмовый стеарин (рафинированный, дезодорированный – ДСТУ 4439:2005) и саломас МЗ (рафинированный, дезодорированный – ДСТУ 5040:2008).

Процесс переэтерификации проводился при следующих условиях:

- температура 105–115 °С;
- остаточное давление (0,4–0,9) кПа;
- продолжительность 1,5 ч;
- дозирование катализатора 0,1 % в пересчете на металл.

Остатки катализатора были удалены с помощью адсорбционной очистки с использованием адсорбента Tonsil Standard 310 FF при температуре 90 °С, дозировка адсорбента 2 % от массы трехкомпонентной смеси [17].

В качестве параметров отклика системы были выбраны такие показатели как, температура плавления, определяемая методом открытого капилляра согласно с ДСТУ ISO 6321:2003 и температура, застывания, определяемая с помощью прибора Жукова – ДСТУ 4463:2005.

Определения ТАГ состава выполнены на газовом хроматографе HP-6890 производства Agilent Technologies (USA) с пламенно-ионизационным детектором и автосамплером [18].

6. Результаты исследования

Ниже на конкретном примере продемонстрирована функциональная связь между ТАГ составом и физико-химическими свойствами жировой смеси.

Для изучения физико-химических показателей были составлены смеси, по симплекс-решетчатому плану Шеффе третьего порядка для трехкомпонентной смеси. Смеси состояли из пальмового олеина (далее ПО), пальмового стеарина (далее ПС) и саломаса МЗ (далее С), массовое содержание которых в смесях соответственно обозначены x_1 , x_2 и x_3 . В соответствии с симплекс-планом были определены стандартными методами, температура плавления $T_{пл}$, °С и температура застывания $T_{к}$, °С, которые обозначены соответственно y_1 и y_2 , для компо-

нентов и составленных из них жировых смесей, которые представлены в табл. 1. Все смеси прошли переэтерификацию, а также адсорбционную очистку. Описание методики может быть найдено в работе [17].

Таблица 1

Симплекс-решетчатый план Шеффе третьего порядка для трехкомпонентной смеси

№ опыта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПО	x_1	1	0	0	0.33	0.33	0	0.67	0.67	0	1/3	0.15
ПС	x_2	0	1	0	0.67	0	0.33	0.33	0	0.67	1/3	0.08
С	x_3	0	0	1	0	0.67	0.67	0	0.33	0.33	1/3	0.77
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	y_1	28.5	50	35.5	44.4	31.2	38.8	40	31.3	43.6	40.3	36.5
$T_{к}, ^\circ\text{C}$	y_2	19	36.6	30.5	32	22	30.8	27	26	33.3	29.3	27.4

По результатам исследований была произведена математическая обработка данных с помощью программы Statistica 8 (StatSoft, Inc., USA) [19]. Как показал анализ полученных экспериментальных результатов, линейная модель наиболее достоверно соответствует данным исследования. При помощи этой модели были записаны уравнения регрессии (3), (4), связывающие температуру плавления и температуру застывания с концентрацией компонентов в смеси [19]:

$$y_1 = 30.44 \cdot x_1 + 50.66 \cdot x_2 + 33.98 \cdot x_3, \quad (3)$$

$$y_2 = 20.61 \cdot x_1 + 36.85 \cdot x_2 + 28.49 \cdot x_3. \quad (4)$$

Для проверки адекватности моделей был использован дисперсионный анализ. В нем были проверены статистически значимые эффекты (p -критерий), которые не превышают 0.05. Так же качество регрессионной модели оценивается с помощью коэффициента детерминации R^2 . Для модели с откликом по температуре плавления этот критерий равняется 0.94, а для температуры застывания – 0.87. Все коэффициенты в уравнении регрессии значимы, что подтверждает диаграмма Парето и оценка псевдокомпонент. Для избежание влияния разных шкал измерения компонент смеси обычно их перекодируют в так называемые псевдокомпоненты. Если план является стандартным симплекс-вершинным или симплекс-центроидным, то это преобразование приводит просто к другой шкале измерения факторов.

Для дополнительной проверки модели на адекватность была взята контрольная точка, состав которой приведен в табл. 1 в строке под № 11 (концентрация компонент ПО – 15 %, ПС – 8 %, С – 77 %). Для этой смеси опытным путем получены температура плавления равная 36.5 °С и температура застывания 27.4 °С. По уравнению регрессии для температуры плавления с вероятностью в 95 %, был получен доверительный интервал прогнозирования (32.5–37.1) °С, а также границы для прогноза – (29.9–39.7) °С. Для этой смеси предсказанная температура плавления равна 34.8 °С. Прогнозируемая температура застывания – 28.0 °С, доверительный интервал прогнозирования (25.3–30.6) °С, границы для прогноза (22.3–33.7) °С. Это также подтверждает адекватность выбранной модели.

Методом газожидкостной хроматографии был определен ТАГ состав ПО, ПС и С. На рис. 1 приведен пример хроматограммы для пальмового стеарина.

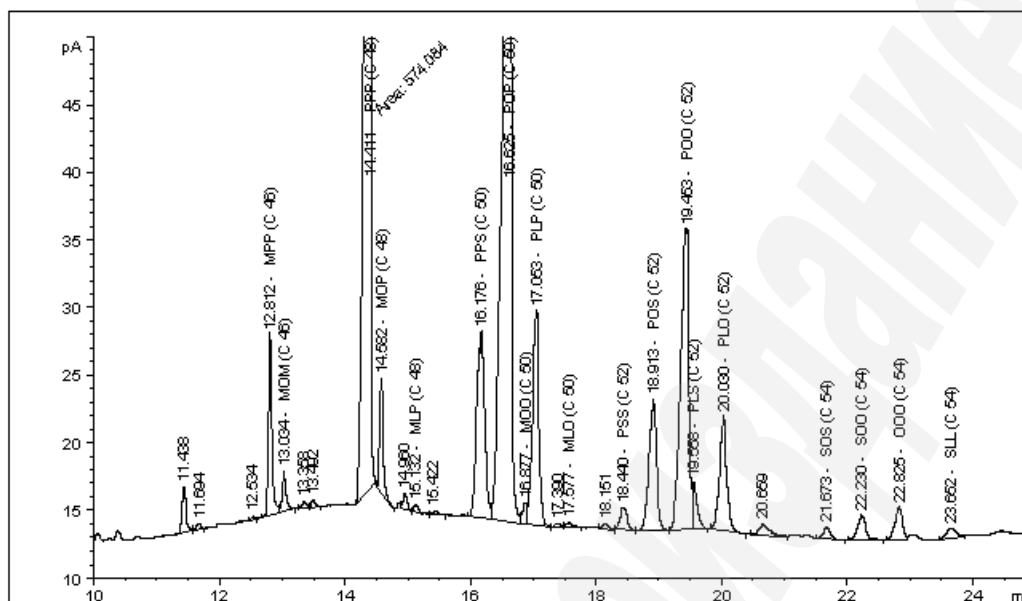


Рис. 1. Хроматограмма триацилглицерольного (ТАГ) состава пальмового стеарина

Из результатов определения ТАГ состава следует, что у компонент число ТАГ в их составе варьируется от 13 до 20.

Для демонстрации функциональной связи между ТАГ составом и физико-химическими свойствами жировой смеси в зависимости от ее состава в составе исходной смеси один из компонент был заменен на другой с иным ТАГ составом. В качестве модельного компонента использован пальмовый стеарин (далее ПС*) с другим ТАГ составом.

В табл. 2 в колонках 1–3 представлен в процентах ТАГ состав исходных компонент смеси и смеси в 4 колонке. В колонках 5, 6 приведены ТАГ составы ПС* и модельной смеси.

Таблица 2

Результаты измерения триацилглицерольного (ТАГ) состава компонентов и расчетные ТАГ составы тройных смесей

№ п/п	ТАГ	Экспериментальные данные				Модельная смесь	
		ПО, %	ПС, %	С, %	1/3ПО+1/3ПС+1/3С	ПС*, %	ПО 0.469+0.255ПС*+0.276С
		1	2	3	4	5	6
1	MPP	0.534	2.733	0	1.089	2.501	0.888
2	MOM	0.302	0.652	0	0.318	0.120	0.172
3	PPP	3.733	29.613	0.135	11.160	28.198	8.979
4	MOP	2.579	1.662	0	1.414	1.459	1.582
5	MLP	0.762	0.114	0	0.292	0.269	0.426
6	MSS	0	0	0.408	0.136	0	0.113
7	PPS	0.967	6.206	2.760	3.311	3.211	2.034
8	POP	36.670	30.165	0	22.278	33.783	25.813
9	MOO	0.714	0.381	0	0.365	0	0.335
10	PLP	8.870	5.758	0	4.876	5.758	5.628

Продолжение таблицы 2

№ п/п	ТАГ	1	2	3	4	5	6
11	MLO	0.178	0.117	0	0.098	0.092	0.107
12	PSS	0	0.631	0.325	0.319	2.056	0.614
13	POS	5.417	4.236	5.632	5.095	2.311	4.684
14	POO	24.544	10.559	15.884	16.996	10.939	18.685
15	PLS	0	0.931	3.968	1.633	0.622	1.254
16	PLO	7.651	3.555	0	3.735	3.358	4.445
17	PLLn	1.222	0	0	0.407	0	0.573
18	PLL	0	0	0	0.000	0.396	0.101
19	SOS	0.454	0.408	3.237	1.366	0.275	1.176
20	SOO	1.692	0.846	19.151	7.230	0.947	6.321
21	OOO	2.590	1.034	37.287	13.637	1.612	11.917
22	*	0	0	11.818	3.737	0	5.258
23	SLO	0	0.399	0	0.133	0.529	0.146
24	OLO	0	0	0	0.000	0.494	0.136
25	SLL	1.121	0	0	0.374	0	0.286
Всего		100	100	100	100.000	98.93	99.705

Примечание:* – не идентифицированный ТАГ.

Соотношение компонентов модельной смеси рассчитывалось из условия, что ТАГ состав ее должен совпадать с ТАГ составом исходной смеси компонентов приведенной в строке 10 (табл. 1). Поскольку система уравнений для расчета состоит из трех по числу компонент, а ТАГ состав этих компонент содержит в сумме 22 наименования ТАГ, то в итоге система переопределена и в сумме состоит из 210 уравнений. Для решения системы в Mathcad 14 составлен алгоритм, который в итерационном процессе позволяет найти решение, удовлетворяющее поставленной задаче [20]. На рис. 2 приведен график, демонстрирующий сходимость итерационного процесса решения системы уравнений для расчета содержания компонентов в смеси в виде полигона.

Из итерационного процесса на рис. 2 видно, что, начиная с числа итераций более 150, соотношение компонент в модельной смеси не претерпевает существенных изменений. Для дальнейших оценок принят следующий окончательный результат расчета соотношения компонент модельной смеси: пальмовый олеин (ПО) $x_1=0.469$, пальмовый стеарин (ПС*) $x_2=0.255$, саломас М3 (С) $x_3=0.276$. Приведенные на рис. 3 ТАГ составы экспериментальной и модельной смесей достаточно хорошо совпадают и наибольшее абсолютное различие содержание ТАГ не превышает 2 %.

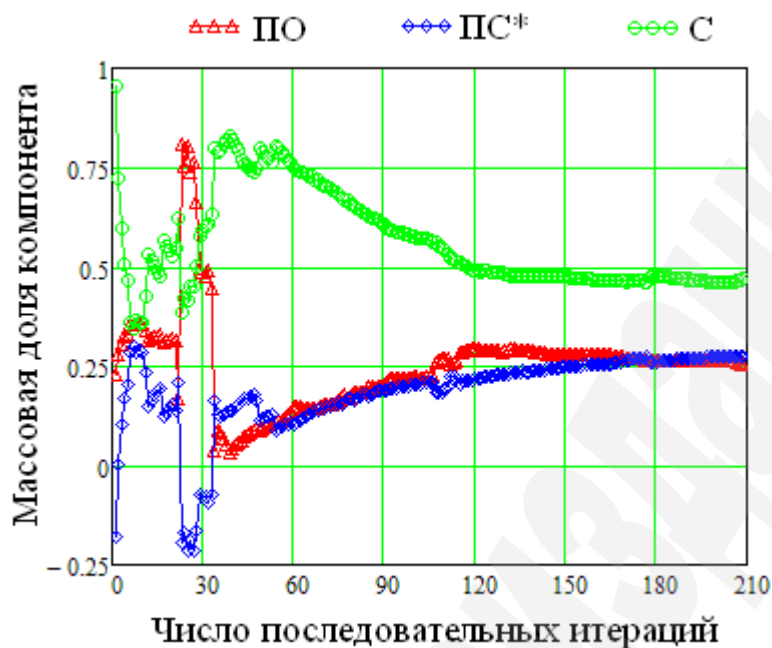


Рис. 2. Итерационный процесс расчета модельного триацилглицерольного состава

На рис 3 – сравнение ТАГ составов исходной и модельной смесей.

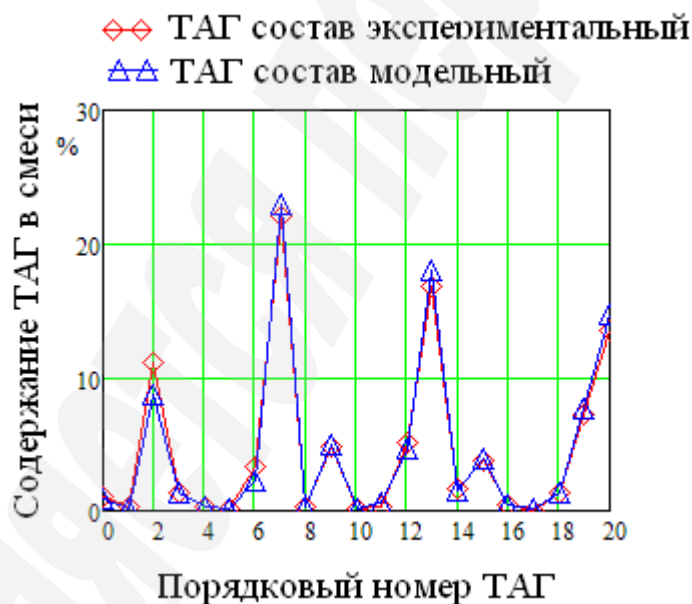


Рис. 3. Сравнение триацилглицерольных составов исходного с модельным

Поскольку содержание компонент в смеси и содержание ТАГ в каждом из компонент, а также смеси, удовлетворяют условию нормировки (2), то между ними имеет место линейная связь, что позволяет в соотношениях (3), (4) произвести замену переменных x_i (содержание компонент в смеси) к псевдопеременным t_j (содержание ТАГ в смеси). Как показали численные расчеты, для выполнения этой процедуры достаточно воспользоваться приведенными в [15] рекомендациями. Можно также ограничиться основными ТАГ, которые составляют в каждом из компонент более 80 % общего содержания ТАГ, что составляет 5–6

ТАГ в каждом из компонент. При этом необходимо в обязательном порядке выполнить процедуру перенормировки основных ТАГ. В результате для смесей, приведенных в табл. 1, сформированы данные, которые принимают псевдокомпоненты в их составе. Значения псевдокомпонент приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения псевдопеременных для смесей из симплекс-решетчатого плана Шеффе третьего порядка

Псевдопеременная	ТАГ	№ опыта										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t ₁	PPP	4.296	34.22	–	27.886	–	13.129	16.604	–	26.728	15.354	–
t ₂	PPS	–	7.171	–	–	–	–	–	–	–	–	–
t ₃	POP	42.205	34.858	–	42.91	15.738	13.373	46.254	32.781	27.228	30.719	10.203
t ₄	PLP	10.209	6.654	–	9.016	–	–	10.499	7.929	–	–	–
t ₅	POS	6.235	4.895	6.047	–	6.835	–	–	7.191	6.185	6.847	6.694
t ₆	POO	28.249	12.202	17.055	20.187	23.254	17.767	26.643	28.565	16.192	22.923	20.526
t ₇	PLO	8.806	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
t ₈	PLS	–	–	4.26	–	–	–	–	–	–	–	–
t ₉	SOO	–	–	20.564	–	15.337	15.778	–	7.986	8.032	8.198	17.716
t ₁₀	OOO	–	–	40.035	–	29.859	30.718	–	15.548	15.635	15.959	34.491
t ₁₁	*	–	–	12.038	–	8.978	9.236	–	–	–	–	10.371
Всего		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Примечание:* – не идентифицированный ТАГ.

Система линейных уравнений для определения коэффициентов в уравнении регрессии температур плавления и застывания имеет вид:

$$\sum_{i=1}^{11} t_{ij} \cdot a_i = y_{kj}, \quad (5)$$

где i – номер ТАГ в табл. 3; j – номер опыта в табл. 3; k – индекс, соответствующей температуре в табл. 1.

В результате решения систем уравнений (5) получены регрессионные соотношения (6) и (7) для определения температур плавления и застывания смесей.

$$y_1 = -3.7 \cdot x_1 + 2.1 \cdot x_2 + 9.3 \cdot x_3 - 1.9 \cdot x_4 - 1.6 \cdot x_5 - 11.5 \cdot x_6 + 0.9 \cdot x_7 + 5 \cdot x_8 + 2321.7 \cdot x_9 - 1187.2 \cdot x_{10} + 0.4 \cdot x_{11}, \quad (6)$$

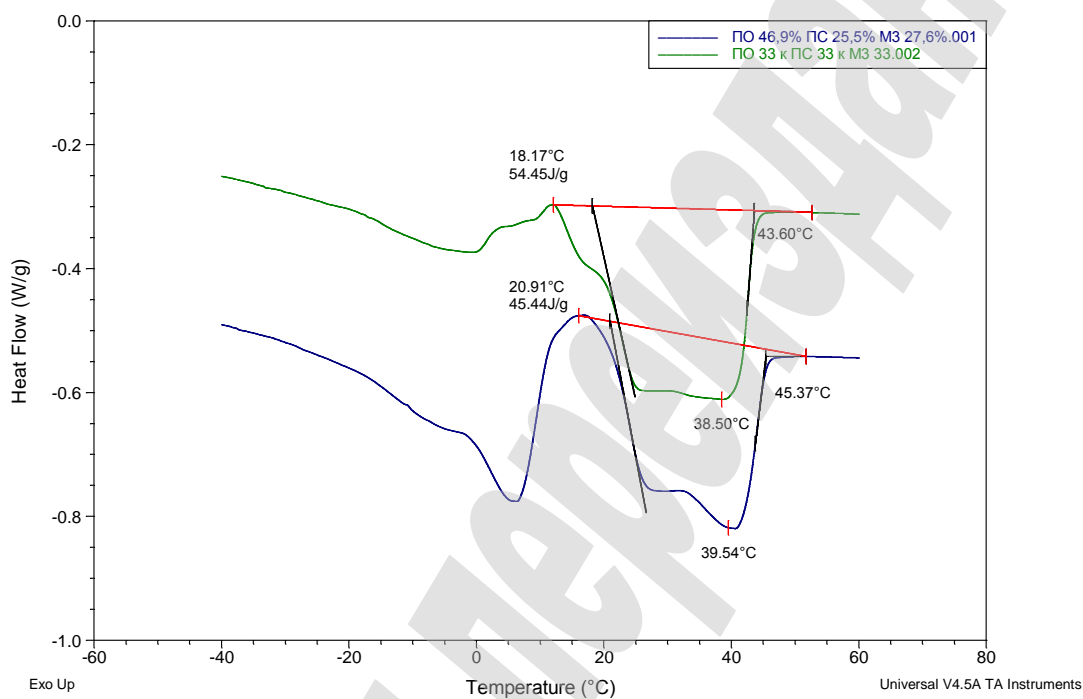
$$y_2 = -2 \cdot x_1 + 1.3 \cdot x_2 + 5.5 \cdot x_3 - 0.7 \cdot x_4 - 1 \cdot x_5 - 7.1 \cdot x_6 + 0.7 \cdot x_7 + 3.5 \cdot x_8 - 942 \cdot x_9 + 487.6 \cdot x_{10} - 0.7 \cdot x_{11}. \quad (7)$$

При подстановке в эти уравнения ТАГ состава любой смеси, которая находится в симплекс-решетчатом плане Шеффе третьего порядка, получаем расчетные значения для температуры плавления и застывания. Это позволяет сделать вывод, что введение

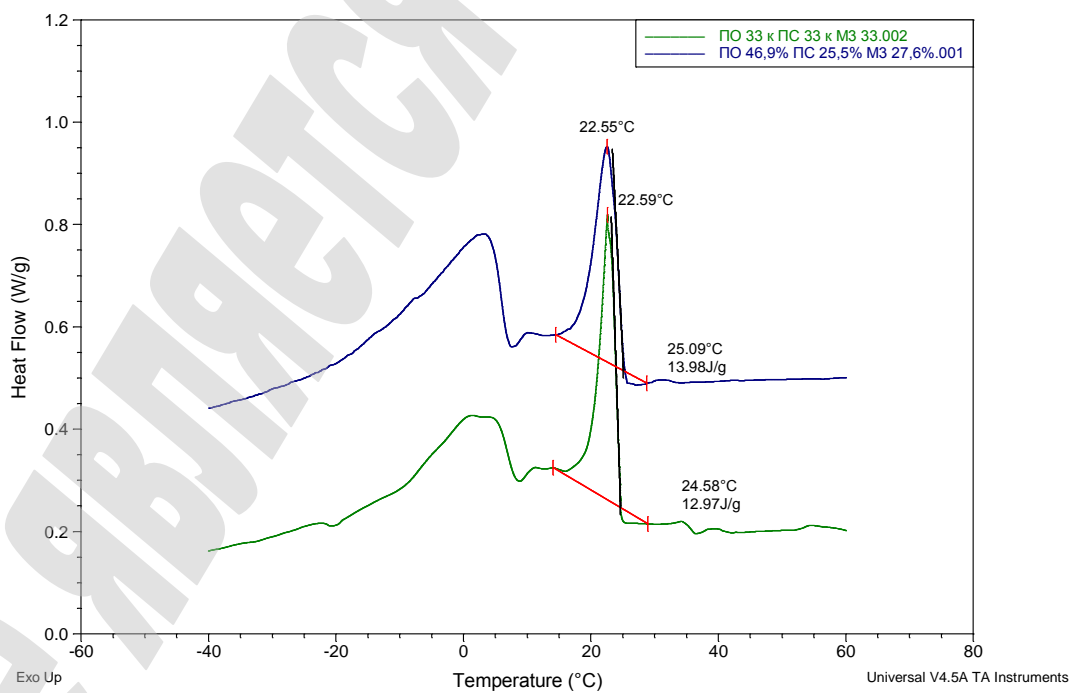
псевдопеременных по приведенной выше процедуре сохраняет функциональная связь между ТАГ составом и физико-химическими показателями жиров.

В соответствии с приведенным в колонке 6 табл. 2 соотношением компонент была составлена жировая смесь и измерены для нее значения температур плавления которая равна 40.3 °С и застывания – 28.7 °С.

Кроме того, были исследованы процессы плавления и кристаллизации исходной и модельной смесей методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). На рис. 4 приведены ДСК диаграммы процессов плавления и кристаллизации смесей.



a



б

Рис. 4. ДСК-граммы: *a* – процесса плавления; *б* – процесса кристаллизации

Как видно на рис. 4, а, пик плавления в новой смеси визуально отличается от первоначальной смеси. Основной эндотермический пик, в основной смеси начинается при температуре 18.17 °С, а у модельной смеси – 20.91 °С. Наблюдается температурное совпадение максимумов пиков, которые отличаются только в 1 °С. При этом эндотермический пик максимума по своей форме отличается. Это связано с концентрацией определенных ТАГ, которые плавятся при этих температурах. Наличие в модельной смеси большого количества таких ТАГ и повлияло на изменения эндотермического пика. Окончание процесса плавления также отличается в 2 °С. Однако температуры плавления, полученные стандартными методами, совпадают.

При кристаллизации, которая представлена на рис 4, б, видно, что начало и максимумы первых пиков совпадают. Температуры застывания, полученные с помощью прибора Жукова, отличаются незначительно.

На основании приведенных исследований можно сделать вывод, что жировые смеси с заданной температурой плавления могут быть получены с помощью математического расчета состава смеси.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Среди примечательных сторон данного исследования необходимо отметить, что зависимости между ТАГ составом и физико-химическими показателями смесей носят линейный характер. Это дает возможность получить для каждой точки симплекс-решетчатого плана Шеффе не только зависимость содержания компонентов смеси от показателей, но и ТАГ состав в этой точке. Это приводит к возможности использования ТАГ состава или основных ТАГ для разработки жировых продуктов с заданной температурой плавления, в том числе и жировых основ маргариновой продукции.

Использование метода ДСК для сравнения смесей позволяет увидеть отличия и совпадения процессов плавления и кристаллизации. Это дает возможность наблюдать не только конкретную температуру, но и процесс в динамике, что позволяет более точно сравнивать жировые основы и процессы, которые в них наблюдаются.

Weaknesses. Слабой стороной исследования является то, что изменение состава исходной смеси приведет к изменению параметров и найденных зависимостей. Поэтому необходимо знать ТАГ состав жиров, которые входили в предыдущую жировую основу и ТАГ состав жира, который будет заменять один из них.

Opportunities. Дополнительные возможности в этой работе кроются в том, что подбор жировой продукции таким методом уменьшит затраты времени и реактивов на экспериментальную корректировку состава сырьевых смесей. Это приведет к составлению жировой основы с заданными физико-химическими и органолептическими показателями. Использование таких математических расчетов на предприятиях позволит быстро реагировать на изменения в жировом сырье и выполнять соответствующие коррективы в соотношениях компонентов в составе жировой смеси.

Threats. Затраты предприятия при внедрении методологии синтеза состава жирового продукта, которая будет основана на результатах данного исследова-

ния, складываются из однократных затрат на разработку алгоритма расчета и затрат на проведение экспериментальной проверки результатов расчетов для каждой из рассчитанных жировых смесей.

8. Выводы

1. Полученный во время исследований ТАГ состав жиров и смесей варьируется в диапазоне от 13 до 20.

2. Установлена зависимость между концентрацией компонентов и физико-химическими свойствами смеси (температурой плавления и застывания) по симплекс-решетчатому плану Шеффе третьего порядка. Получены уравнения, связывающие ТАГ состав с данными физико-химическими свойствами смесей. По этим уравнениям рассчитан математический алгоритм для расчета концентраций компонентов модельной смеси, который представляет собой: пальмовый олеин (ПО) $x_1=0.469$, пальмовый стеарин (ПС*) $x_2=0.255$, саломас МЗ (С) $x_3=0.276$.

3. Экспериментально показано, что полученная модельная смесь имеет температуру плавления равную 40.3 °С, а застывания – 28.7 °С, что совпадает со смесью из симплекс-решетчатого плана Шеффе третьего порядка. Для подтверждения совпадения физико-химических свойств переэтерифицированной смеси и модельной смеси был использован метода ДСК позволяющий увидеть в динамике закономерности и отличия в процессе плавления и кристаллизации.

Литература

1. Mc Clements, D. J. Lipideos [Text] / D. J. McClements, E. A. Decker; ed. by S. Damodaran, K. L. Parkin, O. R. Fennema // Química de alimentos de Fennema. – Ed. 4. – Porto Alegre: Artmed, 2010. – P. 131–179.

2. Nichols, D. The Nomenclature and Structure of Lipids [Text] / D. Nichols, T. Jordan, N. Kerr // Chemical & Functional Properties of Food Components. – Ed. 2. – CRC Press, 2010. – P. 1–22. doi:[10.1201/b10272-2](https://doi.org/10.1201/b10272-2)

3. O'Brien, R. Fats and Oils [Text] / R. O'Brien. – Ed. 3. – CRC Press, 2008. – 680 p. doi:[10.1201/9781420061673](https://doi.org/10.1201/9781420061673)

4. Rao, M. A. Phase transitions, food texture and structure [Text] / M. A. Rao // Texture in Food. – Elsevier, 2003. – P. 36–62. doi:[10.1533/9781855737082.1.36](https://doi.org/10.1533/9781855737082.1.36)

5. Krivolapov, A. N. Ispol'zovanie matematicheskogo modelirovaniia pri poluchenii zhirov s zadannymi svoistvami [Text] / A. N. Krivolapov, V. I. Demidov, I. N. Demidov // Oliino zhyrovyi kompleks. – 2004. – Vol. 2 (5). – P. 65–66.

6. Meremae, K. Trans Fatty Acid Contents in Selected Dietary Fats in the Estonian Market [Text] / K. Meremae, M. Roasto, S. Kuusik, M. Ots, M. Henno // Journal of Food Science. – 2012. – Vol. 77, No. 8. – P. T163–T168. doi:[10.1111/j.1750-3841.2012.02829.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02829.x)

7. Ricciuto, L. A comparison of the fat composition and prices of margarines between 2002 and 2006, when new Canadian labelling regulations came into effect [Text] / L. Ricciuto, K. Lin, V. Tarasuk // Public Health Nutrition. – 2008. – Vol. 12, No. 8. – P. 1270–1275. doi:[10.1017/s1368980008003868](https://doi.org/10.1017/s1368980008003868)

8. Downs, S. M. The effectiveness of policies for reducing dietary trans fat: a systematic review of the evidence [Text] / S. M. Downs, A. M. Thow, S. R. Leeder // Bulletin of the World Health Organization. – 2013. – Vol. 91, No. 4. – P. 262–269H. doi:[10.2471/blt.12.111468](https://doi.org/10.2471/blt.12.111468)

9. Arcand, J. Trans Fatty acids in the Canadian food supply: an updated analysis [Text] / J. Arcand, M. J. Scourboutakos, J. T. Au, M. R. L'Abbe // American Journal of Clinical Nutrition. – 2014. – Vol. 100, No. 4. – P. 1116–1123. doi:[10.3945/ajcn.114.088732](https://doi.org/10.3945/ajcn.114.088732)
10. Albers, M. J. 2006 Marketplace Survey of Trans-Fatty Acid Content of Margarine and Butters, Cookies and Snack Cakes, and Savory Snacks [Text] / M. J. Albers, L. J. Harnack, L. M. Steffen, D. R. Jacobs // Journal of the American Dietetic Association. – 2008. – Vol. 108, No. 2. – P. 367–370. doi:[10.1016/j.jada.2007.10.045](https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.10.045)
11. Otite, F. O. Trends in Trans Fatty Acids Reformulations of US Supermarket and Brand-Name Foods From 2007 Through 2011 [Text] / F. O. Otite, M. F. Jacobson, A. Dahmubed, D. Mozaffarian // Preventing Chronic Disease. – 2013. – Vol. 10. – P. 120–198. doi:[10.5888/pcd10.120198](https://doi.org/10.5888/pcd10.120198)
12. Petik, P. F. Opređenje strukturno-mehaničkih svojstava masti [Text] / P. F. Petik // Oliino zhyrovyyi kompleks. – 2003. – Vol. 3 (3). – P. 47–49.
13. Kryvolapov, O. M. Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohii pereeteryfikatsii zhyriv [Text]: PhD thesis / O. M. Kryvolapov. – Kharkiv, 2007. – 120 p.
14. Demidov, I. M. Budova modeli «sklad-vlastyvist» dlia pereeteryfikovanykh zhyriv z vykorystanniam sympleks-hratchastykh planiv [Text] / I. M. Demidov, A. N. Kryvolapov // Bulletin of the National Technical University «KhPI». – 2006. – Vol. 10. – P. 150–154.
15. Mazaeva, V. S. O nekotorykh osobennostyakh triatsilglitserol'nogo i zhirnokisloto-nogo sostavov rastitel'nykh masel [Text] / V. S. Mazaeva, I. N. Demidov, N. S. Sytnik, V. A. Golodnyak, V. A. Kishchenko, O. V. Golubets // Nauka I Studia. – 2017. – Vol. 4 (165). – P. 102–108.
16. Bondar, A. G. Planirovanie eksperimenta pri optimizatsii protsesov khimicheskoi tekhnologii [Text] / A. G. Bondar, G. A. Statiuha, I. A. Potiazhenko. – Kyiv: Vishcha shkola, 1980. – 264 p.
17. Sytnik, N. Effectiveness research of new catalyst for oil and fat interesterification by using chromatographic analysis [Text] / N. Sytnik, I. Demidov, E. Kunitsa // Technology Audit and Production Reserves. – 2015. – Vol. 6, No. 4 (26). – P. 8–13. doi:[10.15587/2312-8372.2015.53285](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.53285)
18. Identyfikatsiia pereeteryfikovanykh zhyriv. Metodyka vykonannia vymiriuvan [Text]: MVV No. 081/12-0834-12. – Kharkiv: UkrNDIOZh NAAN, 2013. – 37 p.
19. Borovikov, V. P. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere dlia professionalov [Text] / V. P. Borovikov. –Ed. 2. – St. Petersburg: Piter, 2003. – 688 p.
20. Kudriavtsev, E. M. Mathcad 11: Polnoe rukovodstvo po russkoi versii [Text] / E. M. Kudriavtsev. – Moscow: DMK Press, 2005. – 592 p.