

## NEW STEREOSELECTIVE CATALYSTS FOR THE HYDROGENATION OF SUNFLOWER OIL

*K. Toshtay\*, A.B. Auyezov*

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

*\*E-mail: [kainaubek.toshtay@gmail.com](mailto:kainaubek.toshtay@gmail.com)*

**Abstract.** *Introduction.* The work is devoted to the creation of new stereoselective catalysts for the hydrogenation of sunflower oil, which can significantly reduce the trans-isomers of fatty acids. Thus, on nickel catalysts used in industry, the content of trans-isomers of fatty acids reaches up to 30%. Platinum deposited on diatomite (processed natural clay) 0.2 to 1% is offered as a catalyst. *Methodology.* The hydrogenation was carried out in an autoclave, excluding external diffusion inhibition, at hydrogen pressures ranging from 0.25 to 1.0 MPa and temperatures ranging from 90 to 110°C. *Results and discussion.* Chromatographic analysis was used in all cases to determine the isomeric composition of fatty acids, making it possible for the first time to change hydrogen pressure and reaction temperature without changing the isomeric composition. This allows the study of how stereoisomeric composition changes during the hydrogenation of fatty acids. Various physical methods are used to verify catalysts: TPD, BET, and TEM, etc., which can determine catalyst particle size, hydrogen adsorption forms, and specific surfaces. *Conclusion.* These characteristics were correlated with the activity and stereoselectivity of the studied catalysts. Trans-fatty acids are found to be two to three times lower on platinum catalysts than on nickel catalysts.

**Keywords:** hydrogenation, sunflower oil, platinum, nickel, catalyst, stereoselectivity, trans isomers of fatty acids

---

*Toshtay Kainaubek*

*PhD., Senior Lecturer, e-mail: [kainaubek.toshtay@gmail.com](mailto:kainaubek.toshtay@gmail.com);  
<https://orcid.org/0000-0003-1182-7460>*

---

*Auyezov Ali Baıldildaevich*

*Candidate of Chemical Sciences, e-mail: [auyezov\\_ali@mail.ru](mailto:auyezov_ali@mail.ru);  
<https://orcid.org/0000-0003-1182-7460>*

---

## НОВЫЕ СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ГИДРИРОВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

*К. Тоснтай\*, А. Б. Ауезов*

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

*\*E-mail: [kainaubek.toshtay@gmail.com](mailto:kainaubek.toshtay@gmail.com)*

---

**Citation:** Toshtay K., Auyezov A.B. New stereoselective catalysts for the hydrogenation of sunflower oil. *Chem. J. Kaz.*, 2023, 4(84), 131-141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2023-4.2710-1185.46>

**Резюме:** *Введение.* Работа посвящена созданию новых стереоселективных катализаторов гидрирования подсолнечного масла, позволяющих значительно снизить транс-изомеров жирных кислот. Так на никелевых катализаторах, используемых в промышленности, содержание транс-изомеров жирных кислот доходить до 30 %. В качестве катализаторов предлагается платина, нанесенная на диатомит (обработанная природная глина) 0.2 до 1 %. *Методология.* Гидрирование проводили в автоклаве, исключая внешне-диффузионное торможение в интервале давлений водорода 0.25 – 1.0 МПа и температур 90 -110 °С. *Результаты и обсуждение.* Во всех случаях определяли изомерный состав жирных кислот хроматографическим методом, что позволило впервые привести изомерный состав жирных кислот при изменении давления водорода и температуры реакции. Это позволяет установить закономерности изменения стереоизомерного состава жирных кислот при их гидрировании. Катализаторы аттестованы физическими методами: ТПД, БЭТ, ПЭМ и др., которые позволяют установить размеры частиц катализатора, формы адсорбированного водорода, удельную и металлическую поверхности. *Заключение.* Сделана попытка связать с этими характеристиками активность и стереоселективность изученных катализаторов. Показано, что содержание транс-изомеров жирных кислот на платиновых катализаторах в два три раза ниже, чем на никелевых катализаторах используемых на практике.

**Ключевые слова:** гидрирования, подсолнечное масло, платина, никель, катализатор, стереоселективность, транс-изомеры жирных кислот

---

*Кайнаубек Тоштай*

*PhD, Старший преподаватель*

---

*Али Байдылдаевич Ауезов*

*Кандидат химических наук*

---

## 1. Введение

Гидрирования является широко используемой технологией отверждения растительных масел для достижения желаемых технических свойств (изменения характеристик плавления и пластичности) и стабильности к окислению при их использовании в шортенингах, маргаринах, спредах и фритюрных жирах. Натуральные растительные масла имеют только цис-конфигурацию двойных связей С-С, которые могут принимать цис- или транс-конфигурацию во время частичного гидрирования [1]. Несмотря на их позитивное влияние на профили плавления, транс жирные кислоты связаны с негативным воздействием на здоровье [2, 3].

Всемирная организация здравоохранения рекомендовала максимально снизить потребление транс жирных кислот. Эти рекомендации привели к необходимости снижения образования транс жирных кислот в процессе гидрогенизации [4-6]. В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза 024/2011, с 01.01.2018 года введена норма содержания транс-изомеров в спредах, заменителях молочного жира, мягких и жидких маргаринах не более 2.0 % [7]. В настоящее время промышленная гидрирования растительного масла представляющая собой трехфазный процесс (газ–твердое–жидкость), обычно осуществляется в автоклаве периодического действия на никелевом катализаторе в виде суспензии при температуре 120–190 °С и давлении водорода 1-5 МПа [8,9]. Относительно высокая температура, используемая в этих реакторах, также способствует образованию большого количества транс жирных кислот (20-40 %) [10,11].

В связи с этим разработка эффективных и селективных катализаторов гидрирования растительных масел, обеспечивающих низкое содержание транс-изомеров в масложировой продукции является весьма актуальной. Существует устойчивый интерес к использованию катализаторов на основе благородных металлов в качестве альтернативы никелевым катализаторам [12,13]. В различных обзорах [14, 15], посвященных разработке катализаторов гидрогенизации растительных масел отмечается, что по активности в гидрировании кратных С=C связей жирных кислот благородные металлы располагаются в ряд: Pd>Rh>Pt>>Ir>Ru, а по образованию в частично гидрированных продуктах транс-изомеров – Pt<Ir<Ru~Rh<Pd. Для палладия характерна высокая активность и возможность существенного снижения образования транс-изомеров по мере снижения температуры процесса [16].

В настоящей работе путем сравнительного частичного гидрирования подсолнечного масла на промышленном никелевом катализаторе и на низкопроцентном платиновом катализаторе, нанесенном на активированный диатомит показаны реальные возможности получения саломасов с очень низким содержанием транс-изомеров при использовании платинового катализатора. Выявлены причины образования больших количеств транс-изомеров при использовании никелевого катализатора.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1 Методика приготовления катализатора.

Для приготовления монодисперсных коллоидных частиц платины был приготовлен раствор платинохлористоводородной кислоты, в который добавляли 50 мл дистиллированной воды и определенное количество 0.2, 0.5 и 1.0 %-го раствора поливинилового спирта. Полученный раствор перемешивали при комнатной температуре в течение 30 мин. После этого добавляли расчетное количество 0.1 М раствора боргидрида натрия для восстановления платины. Полученный золь платины наносили на активированный диатомит (Д) адсорбционным методом при перемешивании при комнатной температуре в течение 1 часа. После этого катализатор отмывали дистиллированной водой, отфильтровывали и сушили при 110 °С. Таким образом получали катализаторы с содержанием платины 0.2, 0.5 и 1.0 % Pt/Д. Физико-химические свойства носителя подробно описаны в [17, 18].

### 2.2 Физико-химические методы анализа

Характеристики платинового катализатора были определены с использованием методов адсорбции азота (ASAP 2020, Micrometrics, США), просвечивающей электронной микроскопии (JEM-2010, «JEOL», Япония) и термопрограммируемую десорбцию водорода, ТПД-H<sub>2</sub> (AutoChem II 2920 Micromeritics).

### 2.3 Методика гидрирования подсолнечного масла

Каталитическое гидрирование проводили в реакторе периодического действия марки Parr 4848 (Parr Instrument Co. Moline. IL. США) с рабочим

объемом 100 мл используя измерительную часть с кинетической установки высокого давления.

#### 2.4 Анализ жирно -кислотного состава

Жирнокислотный состав исходных масел и продуктов гидрирования (саломас) определяли методом газовой хроматографии (Хромос GX-1000) («Хромос», Россия) по ГОСТ 31754-2012 [19].

### 3. Результаты и их обсуждение

#### 3.1 Физико-химические характеристики катализаторов

Изотермы адсорбции для катализаторов 77 К Pt/Д с содержанием металла 0,2, 0,5 и 1,0%, а также дифференциальные кривые распределения пор по размерам представлены на рис. 1 а и 1 б соответственно. Из рисунка 1 а видно, что для всех образцов платиновых катализаторов характерны изотермы адсорбции IV типа по классификации IUPAC с петлей гистерезиса типа H<sub>4</sub>, что свидетельствует о присутствии мезопор [20]. Рассчитанные по методу БЭТ удельная поверхность образцов 0,2, 0,5 и 1,0 % Pt/Д были равны 46,0, 44,0 и 40,0 м<sup>2</sup>/г соответственно. Незначительное уменьшение удельной поверхности и объема пор с увеличением концентрации Pt свидетельствует о локализации части платина внутри пор носителя. Как видно из дифференциальных кривых (Рис. 1 б), во всех образцах катализаторов средние диаметры пор, рассчитанные по методу БДХ, составляют 19 нм.

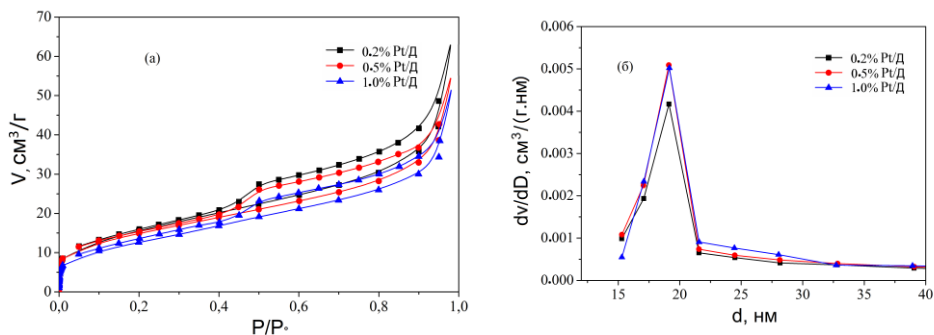


Рисунок 1 – Изотермы адсорбции (а) и дифференциальные кривые распределения объема пор по размерам (б) для катализаторов Pt/Д

Из статистических расчетов по данным ПЭМ (Рис.2а, б и с) следует, что размеры частиц платины на катализаторах 0.2%Pt/Д и 0.5% Pt/Д составляют 1-9 нм, а на 1.0% Pt/Д катализаторе - 1-10 нм, однако преимущественно 2-6 нм для всех трех катализаторов.

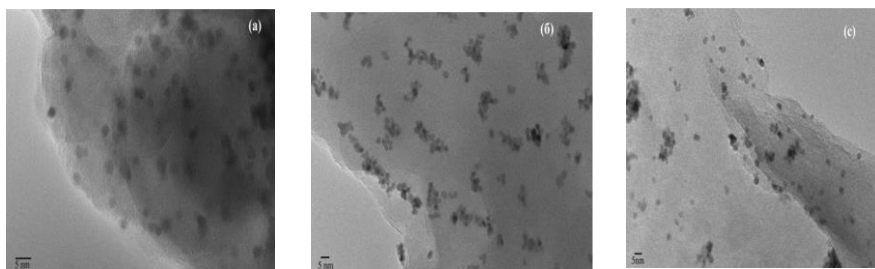


Рисунок 2 – ПЭМ микрофотографии катализаторов (а) 0.2% Pt/Д, (б) 0.5% Pt/Д (с) 1.0% Pt/Д

На рисунке 3 представлены спектры ТПД водорода. Pt и Ni катализаторы резко отличаются по формам водорода, сорбированного на них. На платиновом катализаторе водород адсорбирован, в основном, в виде слабо связанной формы с температурой максимума десорбции равной 160 °С. На никелевом катализаторе водород присутствует в виде крепко связанных форм водорода с двумя температурами максимума десорбции, при 540 и 810 °С.

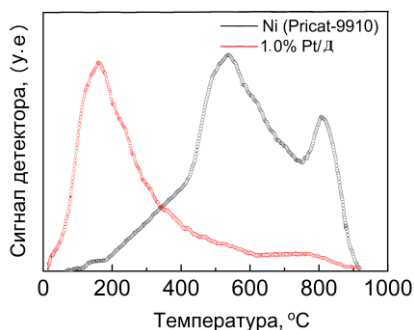
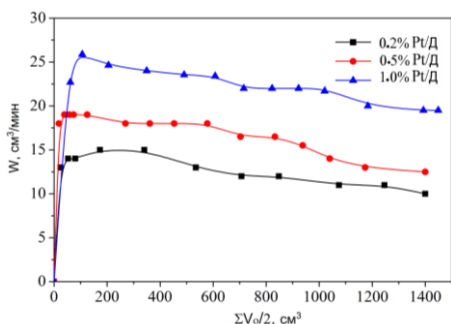


Рисунок 3 – Профили ТПД-Н<sub>2</sub> катализаторов 1.0 % Pt/Д и Ni (Pricat-9910)

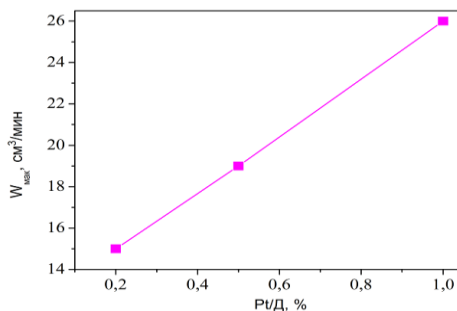
### 3.2 Каталитическое гидрирование подсолнечного масла

#### 3.2.1 Влияние содержания платины в катализаторе на процесс гидрирования подсолнечного масла

Было исследовано влияние содержания платины в катализаторе (0.2 % Pt/Д, 0.5 % Pt/Д и 1.0 % Pt/Д) на процесс гидрирования подсолнечного масла при 90 °С. Кинетические кривые гидрирования подсолнечного масла на данных катализаторах показаны на рис.4. В таблице 1 приведен жирно-кислотный состав образцов саломасов полученных в процессе гидрирования подсолнечного масла.



**Рисунок 4** – Кинетические кривые гидрирования подсолнечного масла на катализаторах 0.2%, 0.5% и 1.0% Pt/D



**Рисунок 5**– Зависимость скорости гидрирования подсолнечного масла от содержания платины в катализаторе

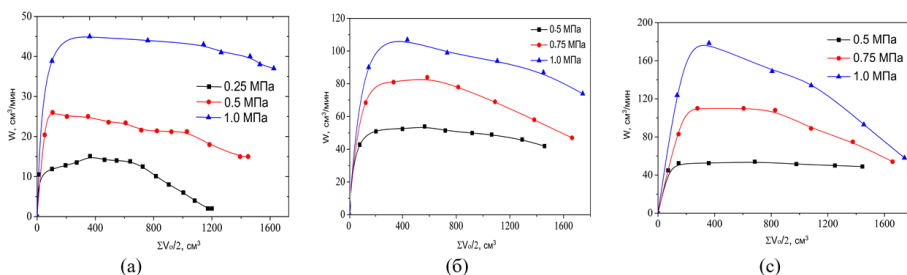
На рисунке 5 показано, что скорость реакции возрастает пропорционально количеству содержанию платины. Построение графика (рис.5) зависимость начальную активность от количества нанесенной платины однозначно показывает наличие линейной вид. Это свидетельствует о том, что процессы массопереноса водорода из газовой фазы в жидкость не лимитируют превращения на поверхности катализатора [291]. При этом содержание транс-изомеров (C18:1t) в саломасях изменяется в узком интервале 4.8-5.8 % (Табл. 1).

**Таблица 1** – Жирно-кислотный состав саломасов, полученных в процессе гидрирования подсолнечного масла на катализаторах 0.2%, 0.5% и 1.0% Pt/D

*Жирнокислотный состав (мас. %)	Подсолнечного масла	0.2%Pt/D	0.5%Pt/D	1.0%Pt/D
C14:0	0.1	0.1	0.1	0.1
C16:0	6.5	6.8	6.8	6.8
C18:0	4.0	22.7	21.4	23.8
C18:1c	21.2	44.5	37.6	38.0
<b>C18:1t</b>	<b>0.2</b>	<b>5.1</b>	<b>5.8</b>	<b>4.8</b>
C18:2c	65.7	17.1	25.2	23.1
C18:2t	0.9	1.1	1.1	0.8
C20:0	0.3	0.2	0.3	0.3
C22:0	0.6	0.5	0.6	0.7
<b>Σтранс</b> изомеров, (%)	1.04	6.2	6.9	5.6
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100г	133.7	74.4	82.4	80.1

### 3.2.2 Влияние давления водорода на процесс гидрирования подсолнечного масла на катализаторе 1,0% Pt/D

На рисунке 6 (а, б и с) приведены результаты по изучению влиянию давления водорода (0.25 -1.0 МПа) на скорость гидрирования подсолнечного масла на катализаторе 1.0% Pt/D при температурах 90, 110 и 130 °С, Соотношение катализатора и масла равна 1:1000, скорость перемешивания 800 об/мин.



**Рисунок 6** – Кинетические кривые гидрирования подсолнечного масла на катализаторе 1.0%Pt/D при температуре (а) 90 °С, (б) 110 °С, (в) 130 °С

Из кинетических кривых (рис.6) видно что при увеличении давления водорода от 0.25 до 1.0 МПа скорость гидрирования повышается в 3 раза. Следует отметить, что при давлении 1.0 МПа скорость реакции резко снижается с повышением температуры, что связано с дефицитом активной формы водорода на поверхности катализатора при высоких температурах. Это подтверждается и тем фактом, что при температурах выше 140 °С процесс гидрирования подсолнечного масла на данном платиновом катализаторе полностью подавляется даже при высоком давлении водорода. Полученные результаты свидетельствуют о том, что активной формой водорода на платиновом катализаторе является относительно слабо связанный атомарный водород, десорбирующийся с поверхности катализатора при температуре выше 140 °С (рис.3). Платиновые катализаторы могут проявлять активность в реакциях гидрирования и при более высоких температурах, однако следует при этом учитывать их различия в природе и строении носителя, степени взаимодействия между металлом и носителем, способах и условиях приготовления и восстановления. В таблицах 2-4 приведены жирнокислотные составы образцов подсолнечного масла гидрированных при различных давлениях водорода.

**Таблица 2** – Жирно-кислотный состав саломасов, полученных гидрированием подсолнечного масла на 1.0% Pt/D,  $t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

Жирнокислотный состав (мас. %)	Исходное масло	0.25 МПа	0.5 МПа	1.0 МПа
C14:0	0.1	0.1	0.1	0.1
C16:0	6.5	6.6	6.8	6.9
C18:0	4.0	22.7	23.8	22.8
C18:1c	21.2	33.8	38.0	37.5
<b>C18:1t</b>	<b>0.2</b>	<b>4.2</b>	<b>4.8</b>	<b>3.7</b>
C18:2c	65.7	29.3	23.1	26.1
C18:2t	0.9	1.0	0.8	0.7
C20:0	0.3	0.3	0.3	0.3
C22:0	0.6	0.6	0.7	0.7
<b>Σ транс изомеров, (%)</b>	<b>1.04</b>	<b>5.2</b>	<b>5.6</b>	<b>4.4</b>
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100г	133.7	85.0	80.1	80.8

**Таблица 3** – Жирнокислотный состав саломасов, полученных гидрированием подсолнечного масла на 1.0% Pt/Д, t = 110 °С

Жирнокислотный состав (мас. %)	Исходное масло	0.5 МПа	0.75 МПа	1.0 МПа
C14:0	0.1	0.1	0.1	0.1
C16:0	6.5	6.8	6.9	6.9
C18:0	4.0	20.0	21.0	21.4
C18:1c	21.2	36.8	35.4	36.3
<b>C18:1t</b>	<b>0.2</b>	<b>5.3</b>	<b>4.3</b>	<b>4.0</b>
C18:2c	65.7	27.7	28.7	28.1
C18:2t	0.9	1.2	0.8	0.7
C20:0	0.3	0.3	0.3	0.2
C22:0	0.6	0.8	0.7	0.7
<b>Σтранс</b> изомеров, (%)	1.0	6.5	5.1	4.7
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100г	133.7	86.5	86.5	85.5

**Таблица 4** – Жирнокислотный состав саломасов, полученных гидрированием подсолнечного масла на 1.0% Pt/Д, t = 130 °С

Жирнокислотный состав (мас. %)	Исходное масло	0.5 МПа	0.75 МПа	1.0 МПа
C14:0	0.1	0.1	0.1	0.1
C16:0	6.5	6.8	6.9	6.7
C18:0	4.0	22.2	21.0	21.1
C18:1c	21.2	38.4	38.0	37.8
<b>C18:1t</b>	<b>0.2</b>	<b>8.8</b>	<b>5.8</b>	<b>5.5</b>
C18:2c	65.7	20.7	24.7	25.0
C18:2t	0.9	1.0	1.2	1.1
C20:0	0.3	0.3	0.3	0.3
C22:0	0.6	0.7	0.8	0.7
<b>Σтранс</b> изомеров, (%)	1.04	9.8	7.0	6.6
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100г	133.7	80.1	83.0	83.1

Из приведенных в таблицах 2 и 3 результатов видно, что при температурах 90 и 110 °С при увеличении давления водорода от 0.25 МПа до 1.0 МПа количество образующихся транс-изомеров C18:1 уменьшается от 4.2 % до 3.7 % и от 5.3 до 4.0 % соответственно. При более высокой температуре (130 °С) при давлении 0.5 МПа, как уже отмечалось выше, содержание транс-изомеров увеличивается до 8.8%, понижаясь до 1.0 МПа при этой же температуре (табл. 4). Полученные результаты свидетельствуют о том, что при низких температурах (90-120 °С) достаточным является давление водорода до 0.5 МПа, а при температуре выше 120 °С требуется повышение давления водорода выше 0.5 МПа для устранения дефицита активной формы водорода на поверхности катализатора. Повышение давления водорода в ходе гидрирования растительного масла, изменяет соотношение концентрации молекул триглицерида и активной формы



водорода на поверхности катализатора. Жирнокислотный состав продуктов гидрирования подсолнечного масла в различных давлениях водорода, на никелевом катализаторе приведен в таблице 5.

**Таблица 5** – Влияние давления водорода на процесс гидрирования подсолнечного масла на никелевом катализаторе ( $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Жирнокислотный состав (мас. %)	Исходное масло	0.25 МПа	0.5 МПа	0.75 МПа	1.0 МПа
C14:0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
C16:0	6.5	6.4	6.5	6.4	6.2
C18:0	4.0	14.4	13.2	13.4	12.8
C18:1c	21.2	37.4	36.4	44.8	35.3
<b>C18:1t</b>	<b>0.2</b>	<b>19.7</b>	<b>14.4</b>	<b>14.5</b>	<b>15.8</b>
C18:2c	65.7	17.6	25.8	16.3	26.1
C18:2t	0.9	1.8	1.6	2.2	1.9
C20:0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
C22:0	0.6	0.8	0.7	0.7	0.7
<i>Транс</i> изомеров, (%)	1.0	21.5	16.0	16.7	17.7
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100г	133.7	82.7	89.4	83.2	91.4

Как видно из приведенных данных (табл.5), повышение давления водорода приводит к резкому увеличению скорости реакции и сокращению времени гидрирования, но при этом содержание транс-изомеров в саломасе снижается лишь незначительно и остается довольно высоким (выше 14%). Полученные результаты свидетельствуют о невысокой селективности никелевого катализатора, т.е. наряду с гидрированием линолевой кислоты имеет место гидрирование олеиновой кислоты. Высокая селективность платинового катализатора объясняется не условиями проведения процесса гидрирования, а природой катализатора, т.е. наличием на поверхности катализатора относительно слабо связанной атомарной формы водорода, которая десорбируется при температуре выше 140 °С.

#### 4. Заключение

В результате лабораторных тестирований установлено, что платиновый катализатор, в отличие от никелевого катализатора, проявляет высокую стероселективность и позволяет значительно снизить содержание транс-изомеров в продуктах реакции. Высокая селективность платинового катализатора объясняется наличием на поверхности катализатора относительно слабо связанной атомарной формы водорода, которая десорбируется при температуре выше 140 °С и не гидрирует олеиновую кислоту. На платиновом катализаторе, оптимизируя условия проведения процесса, гидрирования можно снизить содержание транс-изомеров в саломасе до 3-4%. Высокая активность и низкая селективность никелевых и палладиевых катализаторов объясняется широким набором на их

поверхности крепко связанного адсорбированного водорода, десорбирующегося в интервале от 200 до 600 °С. В процессе исследования на платиновом катализаторе было установлено, что при низких температурах (90-120 °С) оптимальным является давление водорода до 0.5 МПа, а при температуре выше 120 °С требуется повышение давления водорода выше 0.5 МПа для устранения дефицита активной формы водорода на поверхности катализатора.

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта AP14871087.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов между авторами, требующего раскрытия в данной статье.

### КҮНБАҒЫС МАЙЫН ГИДРЛЕУГЕ АРНАЛҒАН ЖАҢА СТЕРЕОСЕЛЕКТИВТІ КАТАЛИЗАТОРЛАР

Қ. Тоштай\*, Ә. Б. Әуезов

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

\*E-mail: [kainaubek.toshtay@gmail.com](mailto:kainaubek.toshtay@gmail.com)

**Түйіндемe:** *Kіріспе.* Бұл жұмыс май қышқылдарының трансизомерлерін айтарлықтай төмендететін кунбағыс майын гидрлеу үшін жаңа стереоселективті катализаторларды құруға арналған. Өнеркәсіпте қолданылатын никель катализаторларында транс май қышқылдарының мөлшері 30% дейін жетуі мүмкін. Катализатор ретінде диатомитке (өңделген табиғи саз) 0,2-ден 1%-ға дейін отырғызылған платина ұсынылады. *Әдістеме.* Гидрлеу сутегі қысымы 0,25-1,0 МПа және 90 -110 °С аралығында, сыртқы диффузиялық тежелуді болдырмайтын автоклава жүргізілді. *Нәтижелер және талқылау.* Барлық жағдайларда май қышқылдарының изомерлер мөлшері хроматографиялық әдіспен анықталды, бұл сутегі қысымы мен реакция температурасы өзгерген кезде май қышқылдарының изомерлері мөлшерін алғаш рет анықтауға мүмкіндік берді. Бұл май қышқылдарының гидрленуі кезінде олардың стереоизомерлік құрамының өзгеру заңдылықтарын белгілеуге мүмкіндік береді. Катализаторлар ТПД, БЭТ, ПЭМ және т.б. физикалық әдістермен сипатталды, бұл катализатор белшектерінің өлшемдерін, адсорбцияланған сутектің формасын, меншікті және металл беттерін бағалауға мүмкіндік береді. *Қорытынды.* Зерттелетін катализаторлардың белсенділігі мен стереоселективтілігін осы сипаттамаларға байланыстыруға әрекет жасалды. Платина катализаторларындағы транс-май қышқылдарының мөлшері практикада қолданылатын никель катализаторларына қарағанда екі-үш есе төмен екендігі көрсетілген.

**Түйін сөздер:** гидрлеу, кунбағыс майы, платина, никель, катализатор, стероселективтілік, май қышқылының транс изомерлері

---

Кайнаубек Тоштай

PhD, аға оқытушы

---

Али Байдильдаевич Ауезов

Химия ғылымдарының кандидаты

---

### Список литературы

1. Sarno M., Iuliano M., Viscusi G., Zarli A., Ciambelli P. A. Nickel/palladium/ruthenium-graphene based nanocatalyst for selective catalytic hydrogenation of vegetable oils. *Ind Crops Prod.*, **2021**, 170, Article 113815. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.11381>
2. Mozaffarian D., Katan M.B., Ascherio A., Stampfer M.J., Willett W.C. Trans fatty acids and cardiovascular disease. *N Engl J Med.*, **2006**, 354, 1601–1613. DOI: 10.1056/NEJMra054035
3. Niforou A., Magriplis E., Klinaki E., Niforou K., Naska A. On account of trans fatty acids and cardiovascular disease risk—there is still a need to upgrade the knowledge and educate consumers. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.*, **2022**, 32. 1811-1818. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2022.05.010>

4. World Health Organization. Eliminating trans fats in Europe: a policy brief. – 2015.
5. World Health Organization. A comprehensive global monitoring framework including indicators and a set of voluntary global targets for prevention and control of noncommunicable disease // Second WHO Discussion Paper. Geneva. – 2012. URL: [http://www.int/nmh/events/2012/discussion\\_peper2\\_20120322.pdf](http://www.int/nmh/events/2012/discussion_peper2_20120322.pdf)
6. Ghebreyesus T. A., Frieden, T. R. REPLACE: a roadmap to make the world trans fat free by 2023. *The Lancet.*, **2018**, 39, 1978-1980. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31083-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31083-3)
7. On Adoption of Technical Regulations of the Customs Union "Technical Regulations for Fat and Oil Products"(TR CU 024/2011)
8. Tonetto G.M., Sanchez M.J.F., Ferreira M.L., Damiani D.D. Partial hydrogenation of sunflower oil: use of edible modifiers of the cis/trans-selectivity. *J Mol Catal A Chem.*, **2009**, 299, 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2008.10.030>
9. Menaa F., Menaa A., Tréton J., Menaa B. Technological approaches to minimize industrial trans fatty acids in foods. *J Food Sci.*, **2013**, 78, R377-R386. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12055>
10. Troncoso F. D., Pedrozo H. A., Tonetto G. M. Vegetable oil hydrogenation over Pt monolithic and powder catalysts: Experimental and modeling study. *Chem Eng Technol.*, **2022**, 45, 2323-2333. <https://doi.org/10.1002/ceat.202200233>
11. Albrand P., Julcour C., Veyrine F., Billet A. M. Sunflower oil hydrogenation mechanisms and kinetics. *Chem Eng Technol.*, **2021**, 420, 129-854. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129854>
12. Toshtay K., Auezov A., Korkembay Z., Toktassynov S., Azat S., Nurakyshev A. Partial hydrogenation of sunflower oil on platinum catalysts: Influence of process conditions on the mass content of geometric isomers. *Mol Catal.*, **2021**, 513, 111-819. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2021.111819>
13. Cepeda E. A., Iriarte-Velasco U., Calvo B., Sierra I. Hydrogenation of sunflower oil over M/SiO<sub>2</sub> and M/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (M= Ni, Pd, Pt, Co, Cu) catalysts. *J Am Oil Chem Soc.*, **2016**, 93, 731-741. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2815-8>
14. Belkacemi K., Boulmerka A., Arul J., Hamoudi S. Hydrogenation of vegetable oils with minimum trans and saturated fatty acid formation over a new generation of Pd-catalyst. *Top Catal.*, **2006**, 37, 113-120. <https://doi.org/10.1007/s11244-006-0012-y>
15. Stathis P., Stavroulaki D., Kaika N., Krommyda K., Papadogianakis G. Low trans-isomers formation in the aqueous-phase Pt/TPPTS-catalyzed partial hydrogenation of methyl esters of linseed oil. *Appl. Catal. B: Environ.*, **2017**, 209, 579-590. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.03.032>
16. Jung M. O., Ju J. W., Choi D. S., Yoon S. H., Jung M. Y. CLA formation in oils during hydrogenation process as affected by catalyst types, catalyst contents, hydrogen pressure, and oil species. *J Am Oil Chem Soc.*, **2002**, 79, 501-510. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0512-8>
17. Toshtay K., Auezov A.B. Hydrogenation of Vegetable Oils over a Palladium Catalyst Supported on Activated Diatomite. *Catal Ind.*, **2020**, 12, 7-15. <https://doi.org/10.1134/S2070050420010109>
18. Toshtay K., Auezov A.B., Bizhanov Z.A., Yeraliyeva A.T., Toktasinov S.K., Kudaibergen B., Nurakyshev A. Effect of catalyst preparation on the selective hydrogenation of vegetable oil over low percentage Pd/diatomite catalysts. *Eurasian Chem Tech J.*, **2015**, 17, 33-39. <https://doi.org/10.18321/ectj192>
19. GOST 31754-2012 (2012) Vegetable oils, animals fats and products of their processing. Methods for determination of the content of trans fatty acid isomers.
20. Thommes M., Kaneko K., Neimark A. V., Olivier J. P., Rodriguez-Reinoso F., Rouquerol J., Sing K. S. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure Appl Chem.*, **2015**, 87, 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>.
21. Deliy I. V., Simakova I. L., Ravasio N., Psaro R. Catalytic behaviour of carbon supported platinum group metals in the hydrogenation and isomerization of methyl oleate. *Appl Catal A-Gen.*, **2009**, 357,170–177. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.01.026>