

УДК 541.128.13

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19

ОДЕРЖАННЯ АКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ АЛЬДОЛЬНОЮ КОНДЕНСАЦІЄЮ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ З ФОРМАЛЬДЕГІДОМ НА V-Ti-PO₄ КАТАЛІЗАТОРАХ

I. I. ШПИРКА^{1*}, Р. В. НЕБЕСНИЙ¹, З. Г. ПИХ¹, В. В. СИДОРЧУК², В. В. ІВАСІВ¹,
С. В. ХАЛАМЕЙДА², К. В. ЗАВАЛІЙ¹

¹кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, УКРАЇНА

²Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, УКРАЇНА

*email: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Досліджено закономірності процесу альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом в акрилову кислоту у газовій фазі на V-Ti-PO₄ каталізаторах. Встановлено вплив температури процесу на конверсію реагентів та селективність утворення продуктів реакції. Встановлено вплив умов приготування каталізаторів, а саме методу одержання активної фази каталізатора та прожарювання каталізатора на його ефективність у досліджуваному процесі. Запропоновано оптимальну методіку приготування V-Ti-PO₄ каталізатора та оптимальні умови одержання акрилової кислоти.

Ключові слова: акрилова кислота; оцтова кислота; формальдегід; гетерогенний каталіз; альдольна конденсація.

ACRYLIC ACID SYNTHESIS BY ALDOL CONDENSATION OF ACETIC ACID WITH FORMALDEHYDE ON V-Ti-PO₄ CATALYSTS

I. SHPYRKA¹, R. NEBESNYI¹, Z. PIKH¹, V. SYDORCHUK², V. IVASIV¹, S. KHALAMEIDA²,
K.ZAVALIY¹

¹ Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, UKRAINE

² Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of this work is to research process of aldol condensation of acetic acid with formaldehyde to acrylic acid in the gas phase, namely: to develop effective catalysts for the process of aldol condensation with acetic acid to acrylic acid; to determine optimum conditions for the process; to investigation of the influence of titanium content in a V-Ti-PO₄ catalyst and the effect of catalyst calcination on its efficiency in the process of aldol condensation of acetic acid with formaldehyde to form acrylic acid. In order to solve this problem, we designed catalysts based V-Ti-PO₄ catalysts. The effect of temperature was examined on the conversion of reagents, the selectivity of formation and the yield of acrylic acid on the created catalysts. With increasing temperature, the conversion increases, the selectivity of formation of acrylates decreases and the total yield of acrylic acid has the maximum. It was shown that the effect of calcination of the catalysts doesn't significantly affect their efficiency in investigated process. It was determined that after calcining the activity of the catalyst K₁ has decreased. The yield of acrylic acid on the non-roasted catalyst is 40%, and on the roasted catalyst - 19%. At the catalyst K₂, the acrylic acid slightly increased - 18.2%, but the selectivity acrylic acid of decreased. Application of the developed catalyst, synthesized by co-precipitation of TiOSO₄ and VSO₄ from aqueous solution, allows to achieve 29 % yield of acrylic acid, 30 % acrylic acid selectivity at 97 % acetic acid conversion. The optimum conditions for acrylic acid obtaining are 648 K and 8 s residence time.

Keywords: acrylic acid; acetic acid; formaldehyde; heterogeneous catalysis; aldol condensation.

Вступ

Акрилова кислота (АК) є цінним продуктом у сучасній хімічній промисловості і широко використовується у виробництві високоякісної лакофарбової продукції, органічного скла, як допоміжна речовина у текстильній промисловості, для виробництва суперабсорбентів, у медицині [1-4]. Світове виробництво АК становить понад 5 млн т/рік та згідно з аналітичними дослідженнями

ринок акрилатних мономерів має стійку тенденцію до зростання [5]. Одним з найбільш перспективних методів одержання АК є її синтез альдольною конденсацією оцтової кислоти (ОК) з формальдегідом (ФА) [6].

Виробництво АК методом альдольної конденсації не є впроваджене у промисловості, оскільки відомі каталізатори для отримання АК альдольною конденсацією характеризуються низькою ефективністю та коротким терміном

роботи внаслідок закоксування поверхні каталізаторів [7]. Саме тому актуальним є розроблення нових каталітичних системи для процесу одержання АК альдольною конденсацією ФА з ОК, які усували б наявні проблеми.

Мета роботи

Мета роботи - встановити вплив методів приготування V-Ti-PO₄ каталізатора на його ефективність у процесі альдольної конденсації ОК з ФА з утворенням АК і запропонувати оптимальний каталізатор.

У роботі передбачається вирішення таких завдань:

- розроблення високоефективних каталітичних систем процесу одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією формальдегіду з оцтовою кислотою;

- встановлення оптимальної температури здійснення процесу одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією формальдегіду з оцтовою кислотою;

- дослідження впливу вмісту титану у V-Ti-PO₄ каталізатора та вплив прожарювання каталізатора на його ефективність у процесі альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом з утворенням акрилової кислоти.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

З попередніх досліджень відомо, що питома поверхня й порувата структура твердих каталізаторів мають великий вплив на їх каталітичні властивості в процесах альдольної конденсації карбонільних сполук. Встановлено, що метод приготування каталізаторів має суттєвий вплив на його фізико-хімічні, а отже і на каталітичні властивості в хімічних перетвореннях [8]. Досліджено каталітичні властивості індивідуальних фосфатів ванадію і титану, які було отримано методом осадження із сульфатних водних розчинів при рН 3. Дослідження показали, що вихід АК на індивідуальному VPO₄ становить 26 %. Індивідуальний фосфат титану є неефективним для синтезу АК в досліджених умовах реакції [9].

В науково-технічній літературі часто зустрічаються відомості про підвищену ефективність біметалевих каталітичних систем, порівняно з індивідуальними [10]. Тому було цікаво дослідити ефективність змішаних фосфатів ванадію і титану. А також дослідити вплив кількісного складу каталізатора, вплив методів їх приготування та прожарювання осаджених каталізаторів на їх каталітичні властивості в

процесі одержання АК методом альдольної конденсації.

Обговорення результатів

Каталітичні властивості синтезованих V-Ti-PO₄ каталізаторів досліджено в реакції альдольної конденсації ОК з ФА в температурному діапазоні від 573 до 673 К, часі контакту 8 с при еквімолярному співвідношенні вихідних реагентів.

Як джерело ФА для дослідження процесу альдольної конденсації ОК з ФА використовували формалін, який одержували з параформу безпосередньо перед здійсненням реакції.

Дослідження здійснювали у реакторі проточного типу з імпульсною подачею реагентів і стаціонарним шаром каталізатора. Продукти реакції аналізували методом газової хроматографії. Склад каталізаторів наведено в табл. 1. Каталізатори K₁ і K₂ синтезовано із V₂O₅ з щавлевою кислотою в бутанолі. Каталізатор K₃ синтезовано співосадженням TiOSO₄ та VSO₄ з водного розчину.

Таблиця 1 – VPO_{Ti} каталізатори

Позначення	Спосіб приготування каталізаторів	Склад каталізаторів
K ₁	З пентаоксиду ванадію з щавлевою кислотою в бутанолі	VPO _{Ti0.1}
K ₂	З пентаоксиду ванадію з щавлевою кислотою в бутанолі	VPO _{Ti0.2}
K ₃	Співосадженням TiOSO ₄ та VSO ₄ з водного розчину	VPO _{Ti}

Як видно з рис. 1 підвищення температури здійснення процесу супроводжується значним зростанням конверсії ОК.

Максимальне значення конверсії ОК спостерігається при температурі 648 К – 97 % на каталізаторі K₃.

Залежність селективності утворення цільового продукту – АА мають максимуми, значення яких є різними на різних каталізаторах (рис. 2).

При збільшенні температури від 623 К до 673 К селективність плавно зменшується для каталізаторів K₁ та K₂. Максимальне значення селективності спостерігаються при температурі 648 К для каталізатора K₂ – 74,9 %, а для каталізатора K₁ становить 65,1 % при температурі 623 К. На каталізаторі K₃ максимальна селективність утворення цільового продукту становить 65,6 % при температурі 598 К.

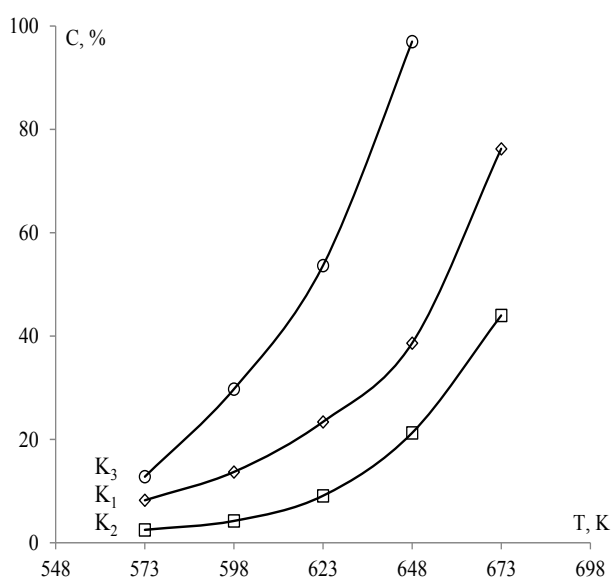


Рис. 1 – Вплив температури на конверсію ОК (С), у присутності каталізатора V-Ti-PO₄. Мольне співвідношення ОК:ФА=1:1, час контакту 8 с.

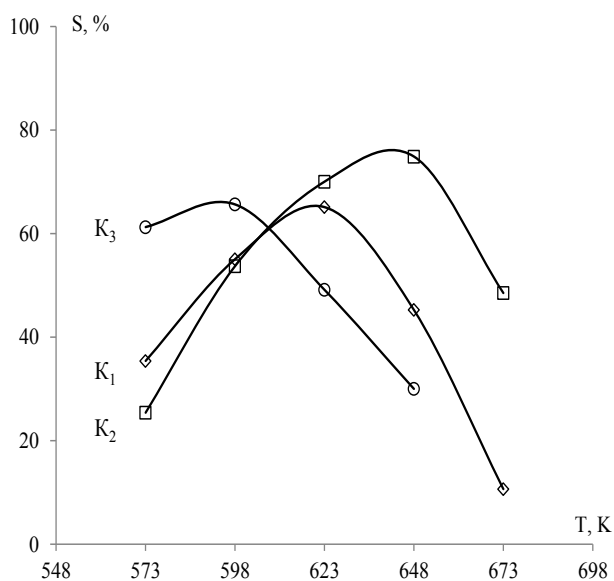


Рис. 2 – Вплив температури на селективність утворення АК (S), у присутності каталізаторів V-Ti-PO₄. Мольне співвідношення ОК:М 1:1. Час контакту 8 с.

На рис. 3. наведено вихід АК (Y) у присутності V-Ti-PO₄ каталізаторів в інтервалі температур від 573 К до 673 К. Вихід АК для всіх каталітичних систем зростає до температури 648 К, а при збільшенні температури до 673 К вихід АК зменшується для каталізатора K₁, а для каталізатора K₂ плавно збільшується.

Максимальне значення виходу АК спостерігається при досягненні температури процесу 648 К на каталізаторі K₃ – 29 %. Таким чином, оптимальною температурою здійснення процесу альдольної конденсації є 648 К, а кращим каталізатором для одержання акрилової кислоти є V-Ti-PO₄ синтезований співосадженням TiOSO₄ та VSO₄ з водного розчину. В присутності даного каталізатора (K₃) в оптимальних умовах (648 К та час контакту 8 с) вдалося досягти виходу акрилової кислоти 29 % при селективності її утворення 30 % та конверсії ОК 97 %.

В роботі також було досліджено вплив прожарювання каталізаторів K₁ та K₂ на їх ефективність у процесі одержання АК методом альдольної конденсації ОК з ФА. Прожарювання здійснювали при температурі 400 °С протягом 8 годин.

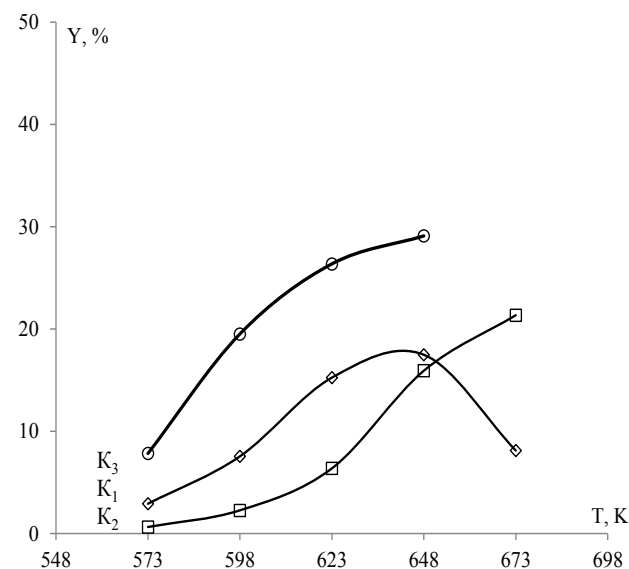


Рис. 3 – Вплив температури на вихід АК (Y), у присутності каталізатора V-Ti-PO₄. Мольне співвідношення ОК:ФА=1:1, час контакту 8 с.

На рис. 4. та рис. 5. наведено вплив прожарювання каталізаторів K₁ та K₂ на конверсію оцтової кислоти (С, %), селективність утворення (S, %) та вихід акрилової кислоти (Y, %) при температурі процесу 648 К. Дослідження показали, що після прожарювання активність каталізатора K₁ зменшилася. Вихід АК на непрожареному каталізаторі становить 40 %, а на прожареному каталізаторі – 19 %. На каталізаторі K₂ вихід АК незначно збільшився – 18,2 %, але селективність АК зменшилась. На непрожареному каталізаторі селективність утворення цільового продукту становить 79 %, а після прожарювання – 59 %.

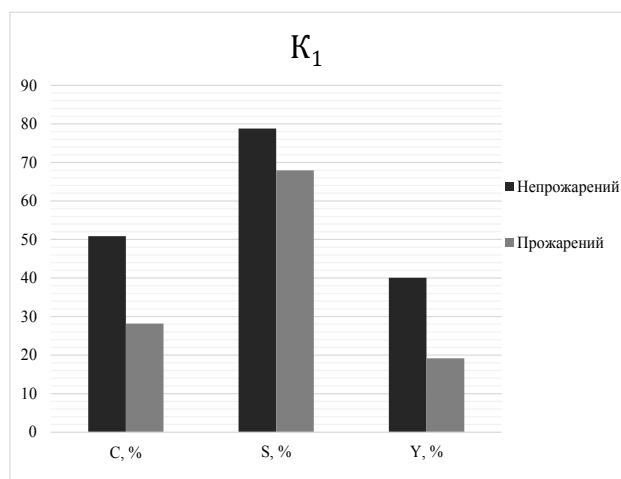


Рис. 4 – Вплив прожарювання на конверсію ОК (C, %), селективність утворення АК (S, %) та вихід АК (Y, %) у присутності каталізатора K_1 при температурі процесу 648 К.

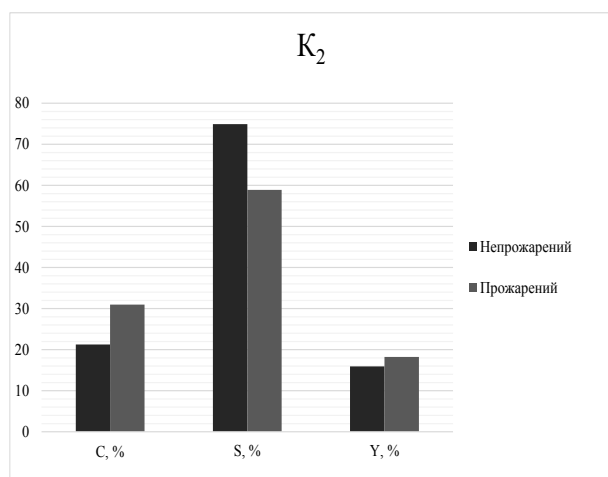


Рис. 5 – Вплив прожарювання на конверсію ОК (C, %), селективність утворення АК (S, %) та вихід АК (Y, %) у присутності каталізатора K_2 при температурі процесу 648 К.

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що прожарювання каталізаторів K_1 та K_2 не несе суттєвого впливу на їх каталітичні властивості в процесі альдольної конденсації ОК з ФА в АК, а тому є недоцільним.

Висновки

Досліджено закономірності здійснення процесу альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом в акрилову кислоту у газовій фазі на V-Ti-PO₄ каталізаторах. Оптимальною температурою для здійснення процесу є

температура 648 К. Запропоновано оптимальну методику приготування V-Ti-PO₄ каталізатора, а саме його синтез співосадженням TiOSO₄ та VSO₄ з водного розчину. В присутності даного каталізатора в оптимальних умовах (648 К та час контакту 8 с) вдалося досягти виходу акрилової кислоти 29,0 % при селективності її утворення 30 % та конверсії ОК 97 %.

Показано, що вплив прожарювання не суттєво впливає на ефективність V-Ti-PO₄ каталізаторів у процесі одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією.

Список літератури

1. **Danner, H.** Biotechnological Production of Acrylic Acid from Biomass / **H. Danner, M. Ürmös, M. Gartner, R. Braun** // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2008. – № 70. – P. 887-894. – doi:10.1007/BF02920199.
2. **Zuo, C.** Thermodynamics and separation process for quaternary acrylic systems / **C. Zuo, Y. Li, Ch. Li, S. Cao, H. Yao, S. Zhang** // *AIChE J.* – 2015. – № 62. – P. 228–240. – doi:10.1002/aic.15015.
3. **Shashkova, V. T.** Synthesis of poly lactide acrylate derivatives for the preparation of 3D structures by photo-curing / **V. T. Shashkova, I. A. Matveeva, N. N. Glagolev, T. S. Zarkhina, A. V. Cherkasova, S. L. Kotova, P. S. Timashev, A. B. Solovieva** // *Mendeleev Communications*. – 2016. – №26. – P. 418-420. – doi: 10.1016/j.mencom.2016.09.018.
4. **Flégeau, K.** Toward the development of biomimetic injectable and macroporous biohydrogels for regenerative medicine / **K. Flégeau, R. Pace, H. Gautier, G. Rethore, J. Guicheux, C. Le Visage, P. Weiss** // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2017. – doi: 10.1016/j.cis.2017.07.012.
5. **Li, X.** Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate / **X. Li, Y. Zhang** // *ACS Catalysis*. – 2016. – № 6. – P. 143-150. – doi: 10.1021/acscatal.5b01843.
6. **Жизневський, В. М.** Одержання акрилатних мономерів газофазно-каталітичною конденсацією карбонільних сполук в газовій фазі / **В. М. Жизневський, Р. В. Небесний, В. В. Івасів, С. В. Шибанов** // *Доповіді НАН України, 2010.* – №10. – С. 114–118.
7. Patent 0343319 US, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / **M. Goebel** // BASF SE., filing date: 18.05.2013; publication date: 08.04.2014.
8. **Skwarek, E.** Influence of mechanochemical activation on structure and some properties of mixed vanadium-molybdenum oxides / **E. Skwarek, S. Khalameida, W. Janusz, V. Sydoruk, N. Konovalova, V. Zazhigalov, J. Skubiszewska-Zięba, R. Lebeda** // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2011. – №3(106), – P.881-894. – doi: 10.1007/s10973-011-1744-x.
9. **Небесний, Р.** Модифікація поруватої структури V-Ti-PO₄ каталізатора та дослідження його ефективності в процесі одержання акрилової кислоти альдольною

- конденсацією / **Р. В. Небесний, З. Г. Піх, В. В. Сидорчук, В. В. Івасів, С. В. Халамейда, І. І. Шпирка, К. В. Завалій, А. В. Лук'янчук** // *Вісник східноукраїнського Національного університету імені Володимира Дала*. –2016. – №5(229). – С. 38-41.
10. **Lapychak, N.** Synthesis of acrylates from methyl propionate, propionic acid and formaldehyde in the gas phase on solid catalysts / **N. Lapychak, V. Ivasiv, R. Nebesnyi, Z. G. Pikh, I. I. Shpyrka.** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – № 5/6 (83). – с 44 - 48. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.79429.
- Bibliography (transliterated)**
1. **H. Danner, M. Ürmös, M. Gartner, R. Braun,** Biotechnological Production of Acrylic Acid from Biomass, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2008, **70**, 887-894, doi:10.1007/BF02920199.
 2. **Cuncun Zuo, Yaping Li, Chunshan Li, Shasha Cao, Haoyu Yao, Suojiang Zhang,** "Thermodynamics and separation process for quaternary acrylic systems", *AIChE J.*, 2015, **62**, 228–240, doi:10.1002/aic.15015.
 3. **Valentina T.Shashkova, Irina A.Matveeva, Nikolay N.Glagolev, Tatyana S.Zarkhina, Anastasiya V.Cherkasova, Svetlana L.Kotova, Peter S.Timashev, Anna B.Solovieva.** Synthesis of polyacrylate acrylate derivatives for the preparation of 3D structures by photo-curing. *Mendeleev Communications*, 2016, **26**, 418-420, doi: 10.1016/j.mencom.2016.09.018.
 4. **Killian Flégeau, Richard Pace, HélèneGautier, Gildas Rethore, Jerome Guicheux, Catherine Le Visage, PierreWeiss.** Toward the development of biomimetic injectable and macroporous biohydrogels for regenerative medicine /, *Advances in Colloid and Interface Science*,2017,doi: 10.1016/j.cis.2017.07.012.
 5. **X. Li, Y. Zhang,** Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate, *ACS Catalysis*,2016, **6**, 143-150, doi: 10.1021/acscatal.5b01843.
 6. **Zhyznevs'kyi V.M., Nebesnyy R.V., Ivasiv V.V., S. V. Shybanov.** Obtaining of acrylic monomers by gas-phased catalytic condensation of carbonyl compounds in gas phase // *Reports of NAS Ukraine*, 2010, **10**, 114–118,
 7. Patent 0343319 US, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / M. Goebel // BASF SE., filing date: 18.05.2013; publication date: 08.04.2014.
 8. **E. Skwarek, S. Khalameida, W. Janusz, V. Sydorчук, N. Konovalova, V. Zazhigalov, J. Skubiszewska-Zięba, R. Leboda.** Influence of mechanochemical activation on structure and some properties of mixed vanadium-molybdenum oxides. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2011, **106**, 881-894, doi: 10.1007/s10973-011-1744-x.
 9. **Nebesnyi, R. Pikh Z., Sydorчук V., Ivasiv V., Khalameida S., Shpyrka I., Zavaliy K., Lukiyanchuk A.** Modification of porous structure of V-Ti-PO₄ catalyst and investigation of its efficiency in acrylic acid synthesis by aldol condensation. *Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 2016, **5(229)**, P. 38-41.
 10. **N. Lapychak, V. Ivasiv, R. Nebesnyi, Z. G. Pikh, I. I. Shpyrka.** Synthesis of acrylates from methyl propionate, propionic acid and formaldehyde in the gas phase on solid catalysts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **5/6 (83)**, 44 – 48, doi: 10.15587/1729-4061.2016.79429.

Відомості про авторів / About the Authors

Шпирка Ірина Іванівна – аспірант кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua.

Ірина Шпирка – PhD student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua.

Небесний Роман Володимирович – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: nebesnyi@lp.edu.ua.

Roman Nebesnyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Lviv Polytechnic National University, Habilitant, Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: nebesnyi@lp.edu.ua.

Піх Зорян Григорович – доктор хімічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: pikh@lp.edu.ua.

Zorian Pikh – Doctor of Chemical Sciences (D.Sc.), Professor, Lviv Polytechnic National University, Head of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: pikh@lp.edu.ua.

Сидорчук Володимир Васильович – кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: bilychi@ukr.net.

Volodymyr Sydorчук - Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: bilychi@ukr.net.

Івасів Володимир Васильович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: el.spectre.x@gmail.com.

Volodymyr Ivasiv – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Lviv Polytechnic National University, Habilitant of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: el.spectre.x@gmail.com.

Халамейда Світлана В'ячеславівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: bilychi@ukr.net.

Svitlana Khalameida - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: bilychi@ukr.net.

Завалій Катерина Вадимівна – студент кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: Annabel16schar@gmail.com.

Kateryna Zavalii - student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: Annabel16schar@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шпирка, І. І. Одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією оцтової кислоти з формальдегідом на V-Ti-PO₄ каталізаторах / **І. І. Шпирка, Р. В. Небесний, З. Г. Піх, В. В. Сидорчук, В. В. Івасів, С. В. Халамейда, К. В. Завалій** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». - 2017. – № 32 (1254). – С. 117-122. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19.

Please cite this article as:

Shpyrka, I. I., Nebesnyi, R. V., Pikh, Z. G., Sydorчук, V. V., Ivasiv, V. V., Khalameida, S. V., Zavalii, K. V. Acrylic acid synthesis by aldol condensation of acetic acid and formaldehyde on V-Ti-PO₄ catalysts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 117–122, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шпирка, И. И. Получения акриловой кислоты альдольной конденсации уксусной кислоты с формальдегидом на V-Ti-PO₄ катализаторах / **И. И. Шпирка, Р. В. Небесный, З. Г. Пих, В. В. Сидорчук, В. В. Ивасив, С. В. Халамейда, Е. В. Завалій** // Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПІ». - 2017. – №32 (1254). – С. 117-122. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19.

АННОТАЦИЯ Исследованы закономерности процесса альдольной конденсации уксусной кислоты с формальдегидом в акриловую кислоту в газовой фазе на V-Ti-PO₄ катализаторах. Установлено влияние температуры процесса на конверсию реагентов и селективность образования продуктов реакции. Установлено влияние условий приготовления катализаторов, а именно метода получения активной фазы катализатора и прокаливания катализатора на его эффективность в исследуемом процессе. Предложено оптимальную методику приготовления V-Ti-PO₄ катализатора и оптимальные условия получения акриловой кислоты.

Ключевые слова: акриловая кислота; уксусная кислота; формальдегид; гетерогенный катализ; альдольная конденсация.

Поступила (received) 15.09.2017