

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут біології, хімії та
біоресурсів
Кафедра хімії та експертизи харчової продукції

Реферат на тему:

Промислове виробництво стиролу

Виконала студентка 3 курсу, 321 групи

Спеціальність «Хімія»

Антонюк Ганна Василівна

Керівник д.х.н., проф. Лявинець О. С.

Чернівці-2025

Зміст

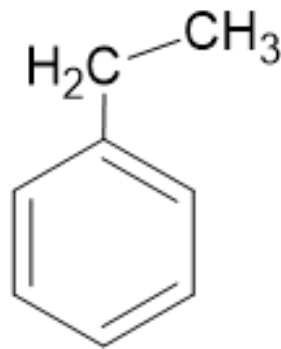
1. Основна частина.....	3
1.1 Сировина для промислового виробництва стиролу	3
1.2. Хімізм процесу	4
1.3 Фізико-хімічні характеристики	6
1.4. Реактори дегідрування етилбензолу та технологічна схема ...	8
1.5. Галузі використання стиролу.....	12
Висновок	15
Список використаної літератури	16

1. Основна частина

1.1 Сировина для промислового виробництва стиролу

1.1.1. Основна сировина — етилбензен

Провідною сировиною у виробництві стиролу є етилбензен — органічна сполука, що належить до ароматичних вуглеводнів. У промислових масштабах його отримують шляхом алкілювання бензену етиленом у присутності кислотних каталізаторів. Цей метод забезпечує високу чистоту продукту та ефективне використання сировини. Майже 99 % усього етилбензену у світі використовується саме для синтезу стиролу.



етилбензен

1.1.2. Каталізатори та допоміжні речовини

Процес дегідрування етилбензену до стиролу здійснюється у присутності оксидних каталізаторів. Найчастіше використовують оксид заліза (Fe_2O_3), модифікований оксидами калію, кальцію або хрому. Ці каталізатори забезпечують високу швидкість реакції та стабільність за високих температур (600–650 °C).

1.1.3. Вимоги до якості сировини

Для досягнення високої продуктивності та якості готового продукту етилбензен повинен мати чистоту не менше ніж 99,5 %. Домішки (наприклад, сірка, кисень, вода) негативно впливають на активність каталізаторів і призводять до утворення небажаних побічних продуктів. Тому якість сировини суворо контролюється.

1.1.4. Енергетичні ресурси

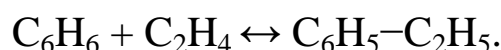
Реакція дегідрування етилбензену є ендотермічною, тобто потребує значного підведення енергії. Для цього використовуються пари води та газоподібне паливо (зазвичай природний газ), що забезпечують підтримання необхідної температури в реакторі.

1.1.5. Екологічні аспекти

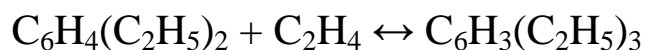
Усі етапи використання сировини супроводжуються потенційними ризиками для довкілля: утворенням летких органічних сполук, забрудненням повітря та води. Тому сучасні виробництва впроваджують системи рекуперації тепла, утилізації відходів та очищення газів з метою зменшення шкідливого впливу на екосистему.

1.2. Хімізм процесу

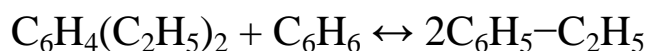
Етилбензол (вихідна речовина для виробництва стиролу) у промисловості синтезують алкілуванням бензолу етиленом у присутності каталізаторів (AlCl_3 , BF_3 , HF , H_2SO_4). Найчастіше використовують порошкоподібні хлористий алюміній або комплекс AlCl_3 з диетилбензолом і хлористим воднем. Процес проводять у рідкій фазі при температурі 100°C :



Реакція алкілювання бензолу етиленом не закінчується на стадії утворення моноетилбензолу, а продовжується з утворенням поліетилбензолу (ді-, три- і тетраетилбензолу):

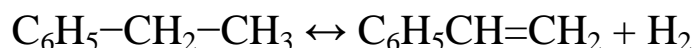


При проведенні процесу на каталізаторі AlCl_3 з надлишком, порівняно зі стехіометричною кількістю бензолу, поліетилбензоли перетворюються в етилбензол:



Каталізатор AlCl_3 має значну вибірккову дію – здатність впливати на збільшення швидкості реакції утворення етилбензолу і не впливати на інші.

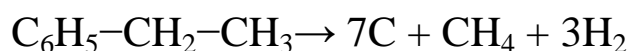
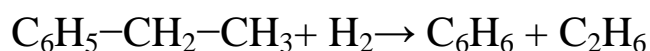
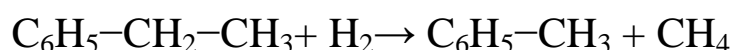
Реакція дегідрування етилбензолу оборотна, ендотермічна, каталітична. Ця реакція відбувається при $550\text{--}650^\circ\text{C}$ в присутності гетерогенних каталізаторів (оксидів металів Fe, Mn, Zn, Cu, Cr та ін.):



При використанні каталізатора Fe–Cr–K вибірккова дія процесу досягає 0,9.

Стирол утворюється і при термічному дегідруванні етилбензолу без каталізатора, але вихід стиrolу в цьому випадку не перевищує 50–55%. Для зрушення рівноваги в сторону продукту реакції, згідно з принципом Ле-Шательє, потрібно збільшувати температуру, вміст вихідної речовини (етилбензолу) у реакційній суміші, зменшувати тиск, а також вводити інертні домішки (водяну пару). При зміні тиску від 1 до 0,1 атм. ступінь перетворення етилбензолу збільшується з 0,25–0,33 до 0,70–0,88. На практиці пари етилбензолу

змішують з водяною парою у співвідношенні 1 : 2,6, що знижує парціальний тиск пари етилбензолу до 0,1 атм., Підвищення температури понад 650⁰С прискорює процес і зміщує рівновагу в бажаний бік, але при цьому відбувається підсилення побічних реакцій з утворенням толуолу, бензолу та смолоподібних речовин:



Тому в умовах промислового виробництва температура суміші газоподібного етилбензолу з водяною парою коливається в межах 600–630⁰С.

1.3 Фізико-хімічні характеристики

Кінетика та термодинаміка процесу виробництва стиролу

1.3.1. Термодинамічні основи дегідрування етилбензену

Процес дегідрування етилбензену до стиролу є ендотермічним, тобто супроводжується поглинанням тепла. Тепловий ефект реакції становить приблизно +124 кДж/моль, що вимагає підтримання високої температури (600–650 °С) для зміщення рівноваги в бік утворення стиролу.

Згідно з принципом Ле-Шательє:

- Підвищення температури сприяє утворенню продукту.
- Зниження тиску також зміщує рівновагу в бік стиролу, оскільки кількість молекул у продуктах більша, ніж у реагентах.

- Використання надлишку водяної пари зменшує парціальний тиск етилбензену, що також сприяє підвищенню виходу стиrolу.

1.3.2. Кінетичні особливості реакції

Реакція дегідрування є гетерогенно-каталітичною і відбувається на поверхні твердого каталізатора. Основні кінетичні характеристики:

- Каталізатор: оксид заліза (Fe_2O_3), активований K_2O , CaO або Cr_2O_3 .
- Механізм: реакція відбувається за механізмом Лангмюра-Хіншельвуда, що передбачає адсорбцію реагентів на поверхні каталізатора, хімічну реакцію та десорбцію продуктів.
- Швидкість реакції залежить від температури, концентрації етилбензену та активності каталізатора.
- Побічні реакції (коксування, крекінг) знижують ефективність процесу, тому важливо підтримувати оптимальні умови.

1.3.3. Вплив водяної пари

Водяна пара виконує кілька функцій:

- Зменшує парціальний тиск етилбензену, сприяючи зміщенню рівноваги.
- Знижує утворення коксу на каталізаторі.
- Підтримує температуру в реакторі завдяки високій теплоємності.

1.4. Реактори дегідрування етилбензолу та технологічна схема

У промисловості органічного синтезу процес дегідрування етилбензолу проводять у трубчастих або шахтних контактних реакторах.

Трубчасті реактори – це реактори-теплообмінники (рис. 1а). Каталізатор завантажується у труби з хромонікелевої сталі 150–200 мм. Тепло, необхідне для проведення реакції дегідрування етилбензолу, передається через поверхню теплообміну (поверхню труб) гарячими паливними газами, які рухаються у міжтрубному просторі проточію (паралельнотечію) руху реакційної суміші у трубах з каталізатором. При проведенні процесу дегідрування при масовому співвідношенні водяної пари до етилбензолу 1:2, температурі 600⁰С і часі контактування 0,6 секунд, ступінь перетворення етилбензолу дорівнює $X_{e.б.} = 0,4$, а вибірка дія каталізатора $\phi_{ст.} = 0,9$.

Умови проведення процесу у трубчастому реакторі наближаються до ізотермічних. Недоліки трубчастого реактора – ускладнена конструкція реактора, висока металоємкість та невисока продуктивність.

У даний час в промисловості частіше використовують адіабатичні контактні реактори, що являють собою циліндричні шахтні апарати, в яких на решітці викладено шар кілець, а поверх нього – шар каталізатора. Ендотермічна реакція дегідрування етилбензолу здійснюється на каталізаторі за рахунок тепла, що надходить з перегрітою водяною парою. У односекційному реакторі дегідрування етилбензолу (рис. 1б), при проходженні реакційної суміші скрізь шар каталізатора температура її зменшується, що

негативно впливає на хід реакції дегідрування і не дає можливості досягти високих показників цього процесу.

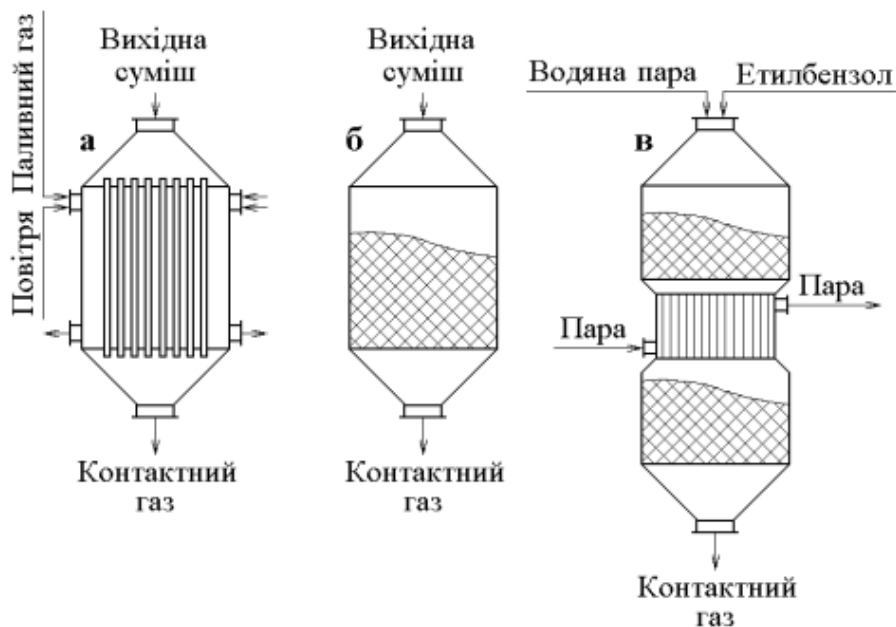


Рис. 1. Реактори дегідрування етилбензолу: а – трубчастий ізотермічний реактор; б– одноступінчастий адіабатичний реактор; в– двоступінчастий адіабатичний реактор з підігрівом реакційної суміші між ступенями контактування.

Останнім часом починають використовувати двоступінчасті реактори дегідрування етилбензолу (рис. 1в) з проміжним збільшенням температури суміші до $620\text{--}630^{\circ}\text{C}$, що дозволяє збільшити ступінь конверсії з 0,4 до 0,6–0,7, зменшити питомі витрати перегрітої водяної пари на виробництво стиролу і збільшити продуктивність каталізатора.

Регенерацію каталізатора здійснюють у реакторах, для чого припиняють надходження етилбензолу у реактор, продувають його водяною парою, а потім – гарячим повітрям, що сприяє випалюванню коксу з поверхні каталізатора. Утворені при

цьомугази відводять, знову продуваючи реактор водяною парою, а потім відновляють подачу етилбензолу.

1.4.1. Опис промислової технологічної схеми виробництва стиролу з етилбензолу

На рис. 2. наведена технологічна схема виробництва стиролу дегідруванням етилбензолу з використанням односекційного адіабатичного реактора.

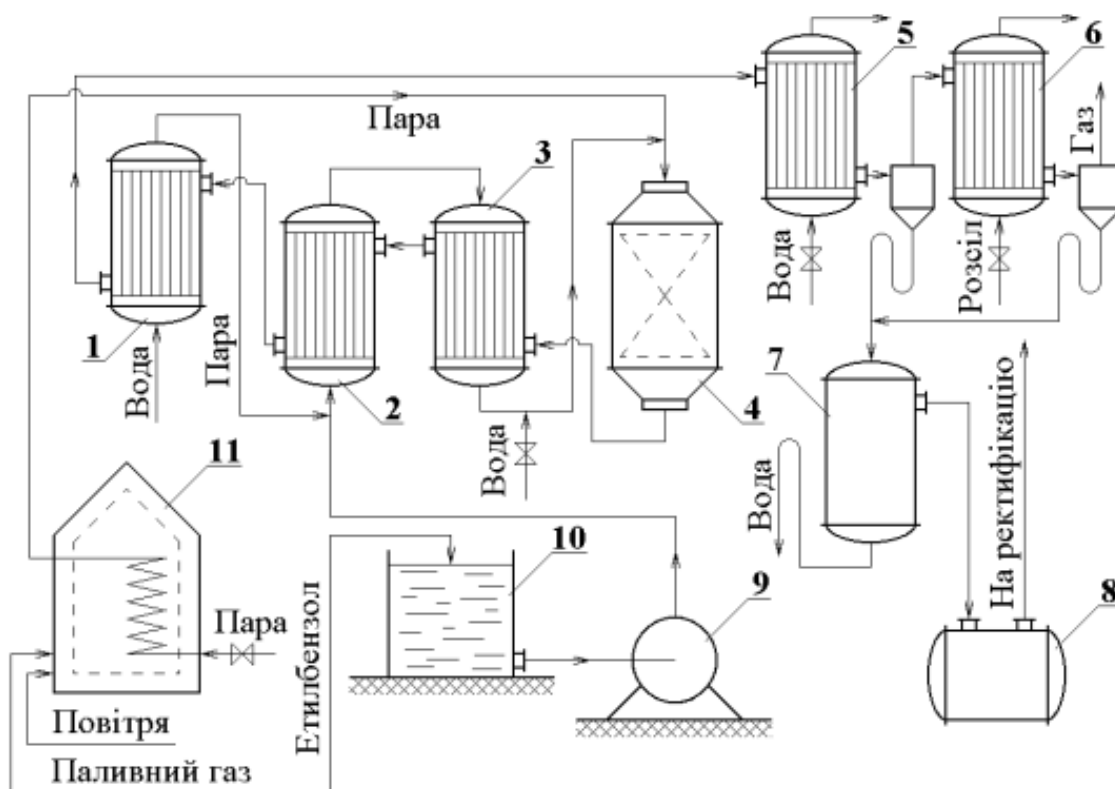


Рис. 2. Технологічна схема виробництва стиролу:

- 1 – котел-утилізатор; 2 – випарник; 3 – перегрівник; 4 – реактор;
- 5, 6 – холодильники; 7 – сепаратор; 8 – проміжнаємність; 9 – насос;
- 10 – сховище.

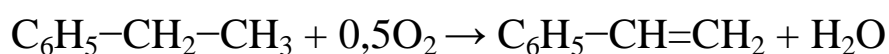
Рідкий етилбензол із збірника 10 насосом 9 подають до випарника 2, де він випаровується, а звідти до перегрівника 3, який

обігривається контактними газами. Перед випарником до етилбензолу додається водяна пара, яку добувають у котлі-утилізаторі 1. З перегрівника 3 суміш етилбензолу з водяною парою надходить до адіабатичного реактора 4. В реактор 4 надходить також додаткова кількість водяної пари, перегрітої у печі 11 до 700–750⁰С. Температура газів після реактора 4 дорівнює 565–580⁰С. Щоб запобігти термічному розкладанню вуглеводнів, у ці газу подається вода для різкого їх охолодження до 450⁰С (“загартування”). Далі парогазова суміш надходить до перегрівника 3, випарника 2, а потім до котла-утилізатора 1, де додатково охолоджується. З котла-утилізатора контактні газу подаються в холодильникиконденсатори 5 і 6, які охолоджуються водою і розсолу. Конденсат збирається у сепараторі 7, де вуглеводні відокремлюють від води. З сепаратора 7 вуглеводні надходять до збірника 8, а потім подаються на ректифікацію. За допомогою ректифікації добувають 99,8% стиролу. Вихідні газу дегідрування стиролу використовують як паливо.

1.4.2. Шляхи вдосконалення виробництва стиролу.

Основними шляхами вдосконалення виробництва стиролу є:

- використання багатосекційних адіабатичних реакторів;
- поліпшення властивостей каталізаторів;
- використання нових технологій, наприклад, добування стиролу окислювальним дегідруванням етилбензолу у присутності каталізаторів – оксидів Ві та W (Vi₂O₅, WO₃):



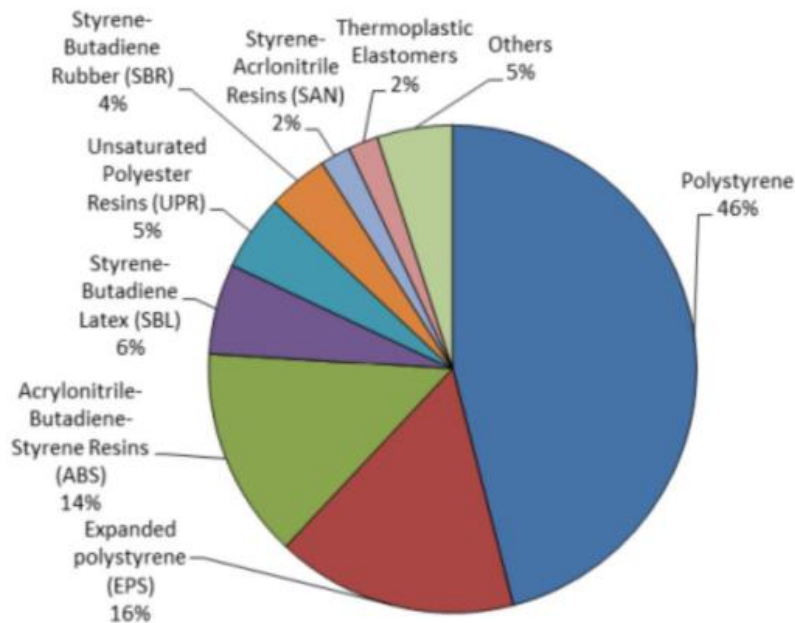
Ця реакція необоротна, екзотермічна. Її використання дає можливість збільшити ступінь конверсії етилбензолу, зменшити витрати перегрітої водяної пари та ін.

1.5. Галузі використання стиролу

У сучасному світі стирол є однією з найважливіших органічних сполук, яка широко застосовується в різних галузях промисловості. Його популярність пояснюється високою реакційною здатністю, здатністю до полімеризації та сумісністю з іншими мономерами. Хоча більшість стиролу використовується для виробництва полімерів, сам по собі він також має важливе значення як сировина та реагент.

1.5.1. Виробництво полістиролу

Найбільша частка стиролу (понад 85 %) використовується для синтезу полістиролу — термопластичного полімеру, який буває прозорим, ударостійким або спіненим. Полістирол застосовується у виготовленні упаковки, одноразового посуду, пінопласту, побутових виробів тощо. Саме завдяки стиролу ці матеріали мають легкість, міцність і доступну вартість.



1.5.2. Сополімери на основі стиrolу

Стирол активно використовується для створення сополімерів, які мають покращені властивості:

- Акрилонітрил-бутадієн-стирол - застосовується в автомобілях, електроніці, іграшках (наприклад, LEGO).
- Стирол-акрилонітрил - використовується у сантехніці, медичних виробках.
- Стирол-бутадієнові каучуки — основа для виготовлення шин, герметиків, гумових покриттів.

1.5.3. Стирольні латекси

У поєднанні з іншими мономерами стирол утворює водні латекси, які застосовуються у виробництві:

- фарб і лаків;
- клеїв;
- покриттів для паперу;

- текстильних аппретів.

1.5.4. Реактивний розчинник у композитах

Стирол використовується як реактивний розчинник у виробництві ненасичених полієфірних смол, які застосовуються для виготовлення:

- склопластиків;
- будівельних панелей;
- деталей для суднобудування, авто- та авіаіндустрії.

У цьому випадку стирол не просто розчиняє смолу, а вступає в реакцію полімеризації, утворюючи міцну тривимірну структуру.

1.5.5. Хімічний синтез

У лабораторіях і промисловості стирол використовується як проміжна речовина для синтезу інших органічних сполук, зокрема:

- ароматичних альдегідів;
- фенілетанолу;
- епоксидних смол.

Висновок

У результаті проведеного дослідження встановлено, що стирол є стратегічно важливою органічною сполукою, яка відіграє ключову роль у сучасній хімічній промисловості. Його висока реакційна здатність, зумовлена наявністю ненасиченого зв'язку у вініловій групі, забезпечує широкі можливості для полімеризації та створення різноманітних полімерних матеріалів.

Основним методом промислового синтезу стиролу є каталітичне дегідрування етилбензену, що відбувається за високих температур (600–650 °C) у присутності оксидних каталізаторів. Процес є ендотермічним, рівноважним і супроводжується побічними реакціями, які потребують ретельного контролю технологічних параметрів. Важливу роль у стабільності процесу відіграє використання водяної пари, що зменшує коксування та сприяє регенерації каталізатора.

Стирол використовується переважно як мономер для синтезу полістиролу та сополімерів, які знаходять застосування в автомобілебудуванні, будівництві, електроніці, медицині та побуті. Крім того, стирол застосовується як реактивний розчинник у виробництві ненасичених поліефірних смол і як проміжна речовина в органічному синтезі.

Таким чином, стирол поєднує в собі високу технологічну цінність і потребу в екологічно відповідальному підході до його використання, що робить його об'єктом постійної уваги з боку науки та промисловості.

Список використаної літератури

1. Демченко М. К. Автоматизація технологічного процесу виробництва стиролу методом дегідрування етилбензену : магістерська дисертація. – НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, 2022. – 112 с.
2. Ранський А. Ф. Органічна хімія і екологія. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – Розділ 3.2.4. [Джерело онлайн](#).
3. Глінка Н. Л. Загальна хімія. – К.: Наука, 2004. – 512 с.
4. Кіреєв В. І. Технологія основного органічного синтезу. – К.: Вища школа, 2001. – 456 с.
5. Ковальчук І. П. Процеси та апарати хімічної технології. – Львів: ЛНТУ, 2010. – 384 с.
6. Сидоренко В. І. Хімічна технологія органічних речовин. – Харків: ХНУ, 2012. – 398 с.
7. la.kpi.ua – [Магістерська дисертація з автоматизації виробництва стиролу](#).
8. Технологічна схема виробництва стиролу // Studfile.net – [Опис процесу з ректифікацією та дегідруванням](#).