

**МАЛООТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛИЦИДОЛА
ПЕРОКСИДНЫМ МЕТОДОМ****С.В. Леонтьева¹, М.Р. Флид^{2,@}, М.А. Трушечкина², М.В. Баботина²,
В.Р. Флид¹, А.В. Сулимов³**

¹МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия

²Научно-исследовательский инженерный центр «Синтез», Москва 119571, Россия

³Дзержинский политехнический институт, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижегородская обл., г. Дзержинск 606026, Россия

@Автор для переписки, e-mail: mflid@yandex.ru

Предложен технологический процесс получения глицидола, рассчитанный на производство мощностью 10 тыс. тонн в год и заключающийся в прямом окислении аллилового спирта водным раствором пероксида водорода в присутствии наноструктурированного силиката титана в среде метанола. Ввиду экзотермичности процесса растворитель является не только гомогенизатором смеси исходных реагентов процесса эпоксилирования – аллилового спирта и пероксида водорода, обеспечивая их взаимодействие на поверхности твердого катализатора, но и препятствует перегреву реакционной массы. На основании исследовательских испытаний жидкофазного эпоксилирования аллилового спирта определены оптимальные параметры проведения процесса: температура 30-40 °С; давление 0.25 МПа; начальное массовое соотношение пероксид водорода:аллиловый спирт = 1:(3-4), концентрация метанола в реакционной смеси 12-13 моль/л. При этом степень превращения пероксида водорода составляет 98%, выход глицидола – 94%, селективность процесса – 95%. Процесс включает в себя три основных технологических стадии: (1) приготовление сырьевой смеси; (2) жидкофазное эпоксилирование аллилового спирта; (3) выделение целевого продукта. В схеме предусмотрена рециркуляция непрореагировавшего аллилового спирта, а также растворителя – метанола. Разработанный технологический процесс обеспечивает следующие показатели (в расчете на 1 т товарного глицидола): расход аллилового спирта – не более 0.843 т; расход пероксида водорода – не более 0.50 т (в пересчете на 100%-ый пероксид водорода); расход метанола – не более 0.022 т. Все отходы производства соответствуют 3 или 4 классу опасности.

Ключевые слова: пероксид водорода, эпоксилирование, аллиловый спирт, катализатор, метанол, сточные воды.

Для цитирования: Леонтьева С.В., Флид М.Р., Трушечкина М.А., Баботина М.В., Флид В.Р., Сулимов А.В. Малоотходная технология получения глицидола пероксидным методом // Тонкие химические технологии / Fine Chemical Technologies. 2018. Т. 13. № 3. С. 49-56.

**LOW-WASTE TECHNOLOGY OF GLYCIDOL PRODUCTION
BY PEROXIDE METHOD****S.V. Leont'eva¹, M.R. Flid^{2,@}, M.A. Trushechkina², M.V. Babotina², V.R. Flid¹,
A.V. Sulimov³**

¹MIREA – Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow 119571, Russia

²LLC Research Engineering Center "Sintez", Moscow 119571, Russia

³Dzerzhinsky Polytechnic Institute, R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Dzerzhinsk 606026, Russia

@Corresponding author e-mail: mflid@yandex.ru

A technological process of manufacturing glycidol designed for the production capacity of 10 thousand tons per year and consisting in the direct oxidation of allyl alcohol with an aqueous solution of hydrogen peroxide in the presence of nanostructured titanium silicate in methanol is proposed. Due to the exothermic process, the solvent is not only a homogenizer of the mixture of the initial reagents of the epoxy process – allyl alcohol and hydrogen peroxide ensuring their interaction on the surface of the solid catalyst: it also prevents overheating of the reaction mass. On the basis of the research trial of the process the optimal parameters of the process were determined: temperature 30–40 °C; pressure 0.25 MPa; the initial hydrogen peroxide : allyl alcohol ratio = 1:(3–4) mass., methanol concentration in the reaction mixture 12–13 mol/l. Hydrogen peroxide conversion is 98%, the yield of the glycidol – 94%, the selectivity is no less than 95%. The process includes three main stages: (1) raw materials preparation, (2) liquid-phase epoxidation of allyl alcohol, (3) distillation of the target product. The scheme involves recirculation of unreacted allyl alcohol and the solvent – methanol. The developed technological process provides the following indicators (per 1 t of commercial glycidol): consumption of allyl alcohol no more than 0.843 t; consumption of hydrogen peroxide no more than 0.50 t (calculated for 100% hydrogen peroxide); consumption of methanol is no more than 0.022 tons. All the waste products correspond to the 3-rd or 4-th hazard class.

Keywords: hydrogen peroxide, epoxidation, allyl alcohol, glycidol, catalyst, methanol, waste water.

For citation: Leont'eva S.V., Flid M.R., Trushechkina M.A., Babotina M.V., Flid V.R., Sulimov A.V. Low-waste technology of glycidol production by peroxide method. *Tonkie khimicheskie tekhnologii / Fine Chemical Technologies*. 2018; 13(3): 49-56. (in Russ.)

Введение

Композиционные полимеры и вещества на основе эпокси-соединений (оксиды олефинов, циклические ацетали и др.) в настоящее время применяются в различных областях промышленности и медицине. Получаемые с их использованием продукты являются перспективными материалами нового поколения, востребованными во многих производствах [1–3].

В связи с этим практический интерес может представлять глицидол (ГД) – оксид аллилового спирта. ГД является ценным промежуточным продуктом в производстве синтетического глицерина и его производных, а также поверхностно-активных веществ, пластификаторов, текстильных красителей, лекарственных препаратов, пестицидов, ряда каучуков, лаков, терморезистивных смол и пластмасс [4, 5]. Данный вид сырья востребован в лакокрасочной промышленности, в частности, он необходим для производства высококачественных лаков. ГД является одним из основных разбавителей эпоксидных смол, помимо этого, он используется как стабилизатор технических масел и виниловых полимеров.

Глицидол используется также в производстве уретановых каучуков [6]. Уретановые каучуки являются универсальным материалом, на основе которого изготавливают эластичные, полужесткие и жесткие материалы. Также они используются для изготовления изделий с высокой прочностью, мас-

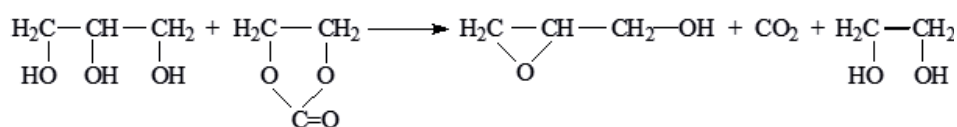
лобензостойкостью, хорошими амортизационными свойствами, устойчивостью к среде кислорода и озона, уникальной износостойкостью.

Ранее глицидол производился фирмой “DEGUSSA” (ФРГ) с использованием гомогенного вольфраматного катализатора [7]. Выход продукта составлял 97%, но стабильным он оставался только при -18 °C. В СССР глицидол выпускался в течение 15 лет опытным заводом ВНИИОС (Новокуйбышевск) с использованием гетерогенного вольфраматного гранулированного катализатора, при этом получался стабильный глицидол с выходом 98.5% [7].

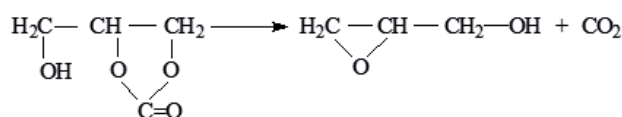
В последние годы на российский рынок поставки глицидола, по данным федеральной таможенной службы, осуществляются одной компанией – “Evonik” (Германия), поскольку собственные производства отсутствуют. Создание промышленного производства глицидола на предприятиях химического комплекса России является перспективной задачей, решающей проблему импортозамещения.

Краткая характеристика известных технологий получения глицидола

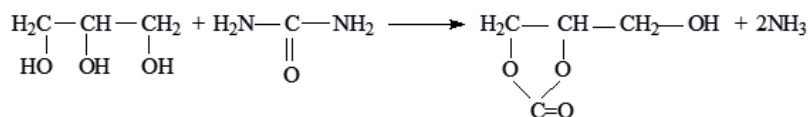
Впервые ГД был синтезирован в 1950 году. В качестве исходных веществ были использованы глицерин и циклические алкеновые карбонаты (этиленкарбонат, пропиленкарбонат, 1,2- или 2,3-бутиленкарбонат):



Позднее был предложен способ получения ГД, основанный на разложении глицеринкарбоната:



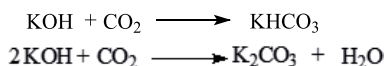
получаемого из глицерина и мочевины [8]:



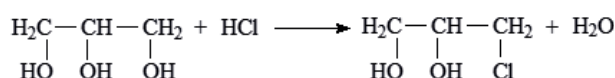
Синтез ГД осуществляют при температуре 175–225 °С, пониженном давлении 100 мм рт. ст., в присутствии неорганических солей (хлорид лития, бромид натрия, хлорид натрия, ацетат натрия, карбонат натрия, бикарбонат натрия, карбонат кальция, карбонат калия, хлорид бария, ацетат бария, хлорид калия, фосфат калия и т.п.) или цеолита типа А и γ-глинозема. Выход ГД не превышал 70%.

В патентной литературе приводятся варианты

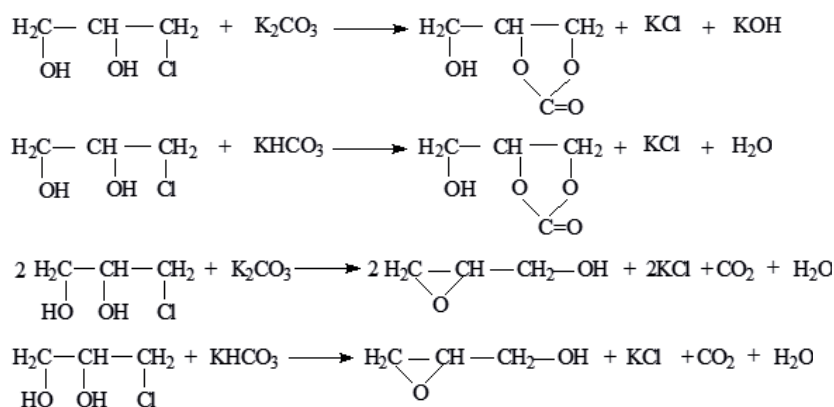
1 стадия – получение (гидро)карбоната калия:



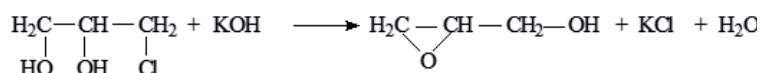
2 стадия – синтез 3-хлор-1,2-пропандиола:



3 стадия – синтез карбоната глицерина и ГД:



Кроме того, ГД может образовываться по реакции щелочного дегидрохлорирования 3-хлор-1,2-пропандиола побочно получаемым КОН:



На первой стадии происходит химическое поглощение диоксида углерода водным раствором гидроксида калия с образованием (гидро)карбоната калия и воды. На второй стадии глицерин реагирует с хлористым водородом в присутствии кислотного катализатора, в результате образуется хлоргидрин. На третьей стадии хлоргидрин взаимодействует с (гидро)карбонатом калия с образованием глицеринкарбоната, ГД, хлорида

технологического оформления данного процесса [9]. Однако подобранные условия (катализатор цеолит типа 3А или 4А, температура 183-185 °С) так и не привели к повышению выхода ГД более 75-80%.

Для устранения указанных недостатков в работе [10] был предложен способ совместного получения карбоната глицерина и ГД из глицерина и диоксида углерода. Данный процесс состоит из трех стадий:

калия, воды и диоксида углерода. После удаления КСl фильтрованием выделение и очистку карбоната глицерина и ГД осуществляют фракционной перегонкой в вакууме, при остаточном давлении 0.1 мм рт. ст.

Получение карбоната глицерина и ГД из карбоната калия осуществляется при температуре 80 °С, мольном соотношении хлоргидрин – карбонат калия, равном 3 : 1. Суммарный выход продуктов 80%.

Альтернативным вариантом синтеза ГД является взаимодействие монохлоргидрина глицерина с раствором едкого калия в метиловом спирте с последующими операциями фильтрации выпавшего хлорида калия, сушки фильтрата сульфатом натрия, отгонки растворителя и перегонки сырца под вакуумом.

Однако данные способы обладают рядом недостатков, присущих традиционному хлоргидринному процессу, и характеризуются относительно невысоким выходом целевого продукта (60-75%). Всё это ограничивает возможность промышленной реализации хлоргидринного способа для получения ГД. Кроме того, в процессе образуются диоксид углерода, что требует затрат на улавливание и возможную рециркуляцию, а также сточные воды, содержащие различные соли.

Учитывая сложность технологического оформления и недостатки, присущие хлоргидринному методу, появляется большое количество работ, посвященных поискам новых, более экологических и

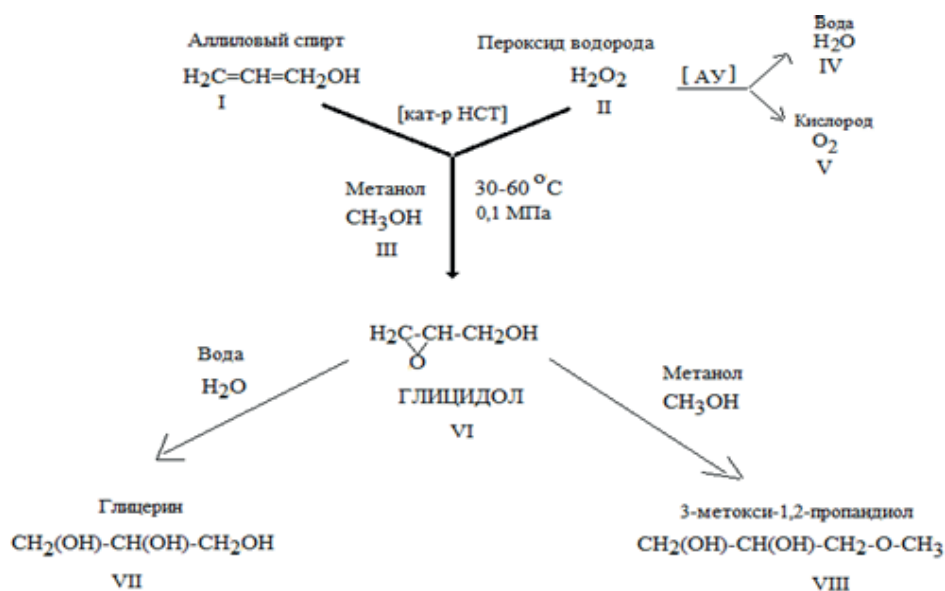
экономичных методов получения эпоксидных соединений.

Альтернативная технология получения глицидола

Альтернативным методом получения ГД может являться прямое окисление аллилового спирта (АС) водным раствором пероксида водорода (ПВ). Это гетерогенно-каталитический процесс, который осуществляется в присутствии наноструктурированного силикалита титана (НСТ) в среде метанола (МС).

Пероксид водорода считается «идеальным окислителем», поскольку единственным образующимся из него побочным продуктом является вода, а по процентному содержанию кислорода среди известных соединений пероксид водорода стоит на втором месте после молекулярного кислорода.

Получение глицидола осуществляется по следующей схеме:



Примечание: АУ – активированный уголь, применяется для разложения пероксида водорода на воду и кислород.

Наряду с основной реакцией протекают побочные реакции, приводящие к образованию 3-метокси-1,2-пропандиола (МПД) и глицерина (ГЛ). МПД образуется при взаимодействии ГД с метанолом; глицерин образуется при взаимодействии ГД с водой.

Реакция экзотермическая, тепловой эффект реакции ΔH равен 271.8 кДж/моль. Ввиду экзотермичности процесса растворитель является не только гомогенизатором смеси исходных реагентов процесса эпоксицирования – аллилового спирта и пероксида водорода, обеспечивая их взаимодействие на поверхности твердого катализатора, но и препятствует перегреву реакционной массы. Также он принимает активное участие в стабилизации Ti-пероксокомплекса, поэтому увеличение размеров алкильного ради-

кала R в молекуле спирта и соответственно размеров переходного комплекса усложняет подход молекулы олефина к активированному комплексу и затрудняет акт передачи кислорода. В связи с этим, самый высокий выход глицидола достигается при использовании в качестве растворителя метанола.

Для создания оптимального профиля температур в катализаторной зоне процесс следует проводить при повышенном давлении. Исследовательские испытания процесса жидкофазного эпоксицирования глицидола показали, что оптимальными параметрами проведения процесса являются: температура $30-40\text{ }^{\circ}C$; давление 0.25 МПа; начальное массовое соотношение пероксид водорода – аллиловый спирт = 1 : (3-4); концентрация метанола в реакци-

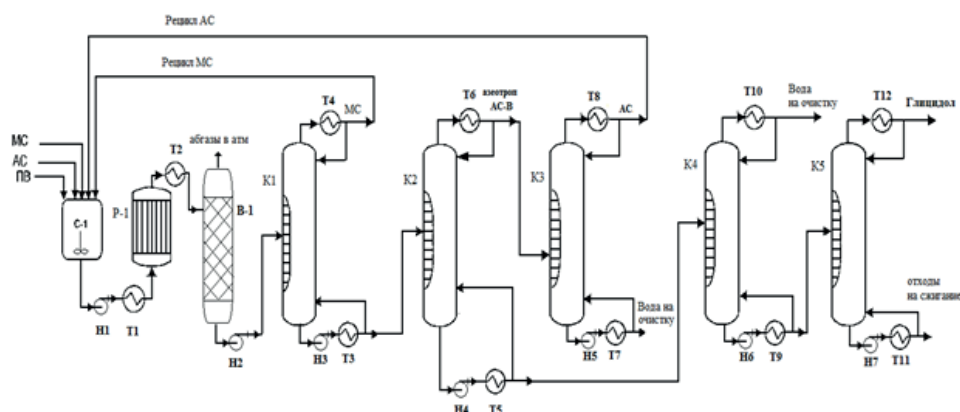
онной смеси 12-13 моль/л [11, 12]. При этом степень превращения пероксида водорода составляет 98%, выход глицидола – 94%, селективность – 95%, что выгодно отличает предлагаемый способ от ранее существующих (табл. 1).

На основании исследовательских экспериментальных данных разработана схема получения глицидола в промышленных условиях [13, 14]. Мощность производства по указанной технологии задана

10 тыс. тонн в год с учетом реальной потребности в данном продукте и исключения его импорта, а также импорта эпоксидных смол. Схема производства включает в себя три основные технологические стадии: (1) приготовления сырьевой смеси, (2) жидкофазного эпоксидирования аллилового спирта, (3) выделения целевого продукта (рисунок). В схеме предусмотрена рециркуляция непрореагировавшего аллилового спирта, а также растворителя – метанола.

Таблица 1. Сравнение методов производства глицидола

| Применяемые технологии | Число протекающих химических реакций | Максимальный выход ГД, % | Наличие побочных продуктов |
|---|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Разложение глицеринкарбоната в присутствии катализатора (соли калия или натрия или бария) [8] | 2 | 70 | Есть |
| Разложение глицеринкарбоната в присутствии катализатора (цеолит типа 3А или 4А) [9] | 2 | 80 | Есть |
| Совместное получение карбоната глицерина и глицидола [10] | 8 | 75 | Есть |
| Окисление аллилового спирта пероксидом водорода | 1 | 94 | Сточные воды содержат следы примесей |



С-1 – смеситель; Р-1 – реактор эпоксидирования АС; В-1 – колонна разложения ПВ; К-1 – колонна отгонки МС; К-2 – колонна выделения азеотропной смеси АС-В; К-3 – колонна отгонки АС; К-4 – колонна отгонки воды; К-5 – колонна выделения товарного ГД; Т-1– теплообменник; Т-2 – холодильник; Т-3, Т-5, Т-7, Т-9, Т-11– кипятильники ректификационных колонн; Н1–7 – насосы; Т-4, Т-6, Т-8, Т-10, Т-12 – конденсаторы ректификационных колонн.

Технологическая схема получения глицидола жидкофазным эпоксидированием аллилового спирта.

В соответствии со схемой получения ГД: исходное сырье (АС, 40%-ый водный раствор ПВ и МС) вместе с потоками рециркулирующих АС и МС поступает через смеситель С-1, насос Н-1 и теплообменник Т-1 в реактор эпоксидирования Р-1.

Поток, выходящий из реактора Р-1, кроме целевого продукта – ГД, содержит воду и непрореагировавшие АС, ПВ, МС и в небольших количествах побочные продукты ГЛ и МПД.

Для разложения непрореагировавшего ПВ реакционный раствор пропускают через заполненную активированным углем колонну В-1. Предусмотрен

сброс в атмосферу газовой фазы, не содержащей вредных примесей. Кубовый раствор из В-1 поступает в ректификационную колонну К-1, дистиллят которой (МС) возвращается на стадию синтеза в качестве растворителя. Кубовый остаток колонны К-1 поступает в ректификационную колонну К-2 для отделения непрореагировавшего АС.

Дистиллят колонны К-2 представляет собой азеотропную смесь АС-В, направляемую в ректификационную колонну К-3 для разделения азеотропа АС-В.

В колонне К-3 отбирается АС, направляемый на рецикл в реактор эпоксидирования. Кубовый

продукт колонны К-3 – сточные воды – направляется на очистку.

В ректификационной колонне К-4 поступающая кубовая жидкость из колонны К-2 отделяется от воды и поступает в ректификационную колонну К-5 для выделения товарного ГД. Дистиллят колонны К-5 представляет собой товарный ГД с содержанием основного вещества не менее 97.0% масс., кубовый остаток колонны К-5, содержащий тяжелокипящие побочные продукты (ГЛ и МПД), направляется на обезвреживание (сжигание).

Разработанный технологический процесс обеспечивает следующие показатели (в расчете на 1 т товарного ГД):

- расход АС не более 0.843 т;
- расход ПВ не более 0.50 т (в пересчете на 100%-ый ПВ);
- расход МС не более 0.022 т.

Характеристики отходов производства и возможные направления их утилизации при использовании метода жидкофазного эпоксицирования аллилового спирта представлены в табл. 2.

Газовые выбросы происходят из колонны разложения ПВ (В-1) – до 4 м³/ч. Поскольку в составе газовых выбросов кроме кислорода содержится в небольших количествах метанол, то сбрасываемые газы должны быть подвергнуты дополнительной санитарной очистке. После очистки газы сбрасываются в атмосферу.

Жидкие органические отходы из кубового остатка колонны К-5 в количестве до 100 кг/ч собираются в накопительные емкости и далее направляются на сжигание.

Сточные воды, представляющие собой дистиллят колонн К-3 и К-4, в количестве 1.3 м³/ч собираются в накопительные емкости и направляются на локальную адсорбционную установку очистки сточных вод, после чего могут быть направлены на сброс в водоемы санитарно-бытового назначения.

В производстве ГД образуется также два вида твердых отходов.

Первый – отработанный катализатор, замену которого можно осуществлять, в среднем, один раз в год. Проведенные испытания показали, что только в течение первых 25-35 ч наблюдается незначительное падение активности катализатора в пределах 0.2-0.5%, в дальнейшем падения активности катализатора практически не происходит. На протяжении данного периода времени состояние катализатора позволяет поддерживать уровень конверсии пероксида водорода на уровне 98% и выход глицидола выше 90%. Отработанный катализатор после обработки его паром с целью извлечения остаточных продуктов реакции собирается в контейнеры и вывозится на полигон. Органические продукты, извлеченные паром, собираются в емкости и направляются на сжигание на общезаводскую станцию сжигания горючих отходов.

Второй – отработанный активированный уголь, который после обработки его паром с целью извлечения остаточных продуктов реакции собирается в контейнеры и направляется на сжигание на общезаводскую станцию.

Все отходы производства соответствуют 3-му или 4-му классу опасности.

Таблица 2. Характеристика и способы утилизации отходов производства

| Наименование отхода, аппарат | Место складирования, транспорт, тара | Периодичность образования | Характеристика отходов | |
|---|--|---------------------------|---|-----------------|
| | | | Химический состав, % масс. | Класс опасности |
| 1. Отход органический (куб колонн К-5) | Собирается в накопительные емкости и направляется на сжигание | Постоянно | ГЛ – 15.78 МПД – 84.22 | 3 |
| 2. Сточные воды после колонн отгонки воды (К-3, К-4) | Сточные воды направляются на очистку | Постоянно | Вода – 100 Метанол – следы | 3 |
| 3. Катализатор отработанный (реактор Р-1) | Собирается в контейнеры и вывозится на полигон для захоронения | Периодически | Катализатор НСТ – 95 Вода – 5.0 Метанол – следы | 4 |
| 4. Уголь активированный (АУ) отработанный (колонна В-1) | Собирается в контейнеры и вывозится на сжигание | Периодически | АУ – 95.0 Вода – 4.0 Метанол – 0.9 ГД – 0.1 | 3 |
| 5. Абгазы колонны В-1 | Сбрасываются в атмосферу | Постоянно | Кислород > 99.9% Метанол – следы | 3 |

Заключение

Технологический процесс получения глицидола путем жидкофазного эпоксицирования аллилового

спирта пероксидом водорода на данное время не реализован в промышленном масштабе в России, однако является перспективным. Эти перспективы связаны,

прежде всего, с более высокими выходом и селективностью процесса по сравнению с традиционной «хлоргидриной» технологией, а также с существенно более низким образованием загрязненных сточных вод. Процесс технологически прост и не требует использования специального дорогостоящего оборудования. Процесс не требует использования хлора, с наличием которого обычно связано значительное количество производственных ограничений. Разра-

ботанная технология предполагает соблюдение действующих нормативов ПДК в воздухе рабочей зоны, в частности, для метанола – 5 мг/м³; для аллилового спирта – 2 мг/м³, для глицидола – 5 мг/м³.

Ограничением может являться использование значительных количеств пероксида водорода, вопрос обеспечения которым требует дополнительной проработки. Должен быть также решен вопрос с созданием производства катализатора.

Список литературы:

1. Гуськов А.К., Макаров М.Г., Швец В.Ф. Реакционная способность спиртов и гликолей в реакциях с альфа-оксидами // Кинетика и катализ. 1997. Т. 38. № 5. С. 660–665.
2. Kozlovskiy I.A., Kozlovskiy R.A., Koustov A.V., Makarov M.G., Suchkov J.P., Shvets V.F. Kinetics and products distribution of selective catalytic hydration of ethylene- and propylene oxides in concentrated aqueous solutions // *Organic Process. Research & Development*. 2002. V. 6. Iss. 5. P. 660–664. DOI: 10.1021/op010099.
3. Платэ Н., Сливинский Е. Основы химии и технологии мономеров: учебное пособие. М.: Наука: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. 696 с.
4. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2003. 536 с.
5. Николаев А.Ф., Крыжановский В.К., Бурлов В.В. [и др.] Технология полимерных материалов / Под ред. В.К. Крыжановского. СПб.: Профессия, 2008. 544 с.
6. Каучук и резина. Наука и технология / Под ред. Дж. Марка, Б. Эрмана, Ф. Эйрича. М.: Интеллект, 2011. 768 с.
7. Новые процессы органического синтеза / Под ред. С.П. Черных. М.: Химия, 1989. 400 с.
8. Uno M., Okutsu M. Process for production of glycidol: pat. 20090318718 USA. № 20070304740; filled 14.06.2007, publ. 24.12.2009.
9. Yoo J.-W., Mouloungui Z., Gaset A. Method for producing an epoxide, in particular of glycidol and installation for implementation: pat. 1998040371 WO. № PCT/FR98/00451; filled 06.03.1998, publ. 17.09.1998.
10. Gomez-Jimenez-Aberasturi O., Ochoa-Gomez J.R., Pesquera-Rodriguez A. Solvent-free synthesis of glycerol carbonate and glycidol from 3-chloro-1,2-propanediol and potassium (hydrogen) carbonate // *J. Chem. Technol. & Biotechnol.* 2010. V. 85. Iss. 12. P. 1663–1670. DOI: 10.1002/jctb.2478.
11. Сулимов А.В., Данов С.М., Овчарова А.В., Овчаров А.А., Флид В.Р. Исследование закономерностей синтеза глицидола жидкофазным эпоксиждением аллилового спирта пероксидом водорода // Изв.

References:

1. Gus'kov A.K., Makarov M.G., Shvets V.F. the reactivity of alcohols and glycols in reactions with α -oxides. *Kinetika i kataliz = Kinetics and Catalysis*. 1997; 38(5): 660-665. (in Russ.)
2. Kozlovskiy I.A., Kozlovskiy R.A., Koustov A.V., Makarov M.G., Suchkov J.P., Shvets V.F. Kinetics and products distribution of selective catalytic hydration of ethylene- and propylene oxides in concentrated aqueous solutions. *Organic Process. Research & Development*. 2002; 6(5): 660-664. DOI: 10.1021/op010099.
3. Platé N., Slivinsky E. Fundamentals of chemistry and technology of monomer. Moscow: Nauka Publ.: MAIK "Nauka / Interperiodika", 2002. 696 p. (in Russ.)
4. Timofeev V.S., Serafimov L.A. The principles of technology of general organic and petrochemical synthesis. M.: Vysshaya shkola Publ., 2003. 536 p. (in Russ.)
5. Nikolaev A.F., Kryzhanovskii V.K., Burlov V.V. [et al.] The technology of polymeric materials. Ed. by V.K. Kryzhanovsky. Saint Petersburg: Professiya Publ., 2008. 544 p. (in Russ.)
6. The Science and Technology of Rubber. Ed. by J. Mark, B. Erman, F. Eirich. Elsevier academic Press, Third Edition, 2005.
7. New processes of organic synthesis. Ed. by S.P. Chernykh. M.: Khimiya Publ., 1989. 400 p. (in Russ.)
8. Uno M., Okutsu M. Process for production of glycidol: pat. 20090318718 USA. No. 20070304740; filled 14.06.2007, publ. 24.12.2009.
9. Yoo J.-W., Mouloungui Z., Gaset A. Method for producing an epoxide, in particular of glycidol and installation for implementation: pat. 1998040371 WO. No PCT/FR98/00451; filled 06.03.1998, publ. 17.09.1998.
10. Gomez-Jimenez-Aberasturi O., Ochoa-Gomez J.R., Pesquera-Rodriguez A. Solvent-free synthesis of glycerol carbonate and glycidol from 3-chloro-1,2-propanediol and potassium (hydrogen) carbonate. *J. Chem. Technol. & Biotechnol.* 2010; 85(12): 1663-1670. DOI: 10.1002/jctb.2478.
11. Sulimov A.V., Danov S.M., Ovcharova A.V., Ovcharov A.A., Flid V.R. Regularities of glycidol synthesis by the liquid-phase epoxidation of allyl alcohol with hydrogen peroxide. *Russ. Chem. Bull.* 2014; 63(12): 2647-2651.

АН. Сер. хим. 2014. № 12. С. 2647–2652.

12. Пастухова Ж.Ю., Насыбулин Ф.Д., Сулимов А.В., Флид В.Р., Брук Л.Г. Эпоксидирование аллилового спирта в глицидол пероксидом водорода на титаносодержащем силикалите // Тонкие химические технологии. 2016. Т. 11. № 4. С. 26–34.

13. Флид В.Р., Леонтьева С.В., Брук Л.Г., Пастухова Ж.Ю., Сулимов А.В., Данов С.М., Овчарова А.В., Овчаров А.А., Флид М.Р., Трушечкина М.А. Способ получения гранулированного катализатора эпоксидирования олефинов повышенной прочности: пат. 2618528 Рос. Федерация. № 2016114666; заявл. 15.04.2016; опубл. 04.05.17, Бюл. № 13. 5 с.

14. Флид В.Р., Леонтьева С.В., Флид М.Р., Сулимов А.В., Пастухова Ж.Ю., Насыбулин Ф.Д., Брук Л.Г. Способ получения глицидола: пат. 2604835 Рос. Федерация. № 2015149259, заявл. 17.11.2015; опубл. 10.12.16, Бюл. № 34. 5 с.

12. Pastukhova Zh.Yu., Nasybulin F.D., Sulimov A.V., Flid V.R., Bruk L.G. Epoxidation of allyl alcohol to glycidol with hydrogen peroxide at titanium silicalite. *Tonkie khimicheskie tekhnologii / Fine Chemical Technologies*. 2016; 11(4): 26-34. (in Russ.)

13. Flid V.R., Leont'eva S.V., Bruk L. G., Pastukhova Zh.Yu., Sulimov A.V., Danov S.M., Ovcharova A.V., Ovcharov A.A., Flid M.R., Trushechkina M.A. A method of obtaining a granulated catalyst for the epoxidation of olefins increased strength: pat. 2618528 Russian Federation. No. 2016114666; filled 15.04.2016; publ. 04.05.17. (in Russ.)

14. Flid V.R., Leont'eva S.V., Flid M.R., Sulimov A.V., Pastukhova Zh.Yu., Nasybulin F.D., Bruk L.G. A method for producing glycidol: Pat. 2604835 Russian Federation. No. 2015149259, filled 17.11.2015; publ. 10.12.16. (in Russ.)

Об авторах:

Леонтьева Светлана Викторовна, кандидат химических наук, доцент кафедры экологической и промышленной безопасности, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского 86).

Флид Марк Рафаилович, доктор технических наук, генеральный директор ООО НИИЦ «Синтез» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского 86).

Трушечкина Марина Александровна, старший научный сотрудник, ООО НИИЦ «Синтез» (119571 Россия, Москва, пр-т Вернадского 86).

Баботина Марина Владимировна, старший научный сотрудник, ООО НИИЦ «Синтез» (119571 Россия, Москва, пр-т Вернадского 86).

Флид Виталий Рафаилович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии им. Я.К. Сыркина, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского 86).

Сулимов Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология органических веществ», Дзержинский политехнический институт Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, д. 49).

About the authors:

Svetlana V. Leont'eva, Ph.D. (Chem.), Associate Professor of the Chair of Environmental and Industrial Safety, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia).

Mark R. Flid, D.Sc. (Eng.), CEO Research Engineering Center "Sintez" (86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia).

Marina A. Trushechkina, Senior Research Associate, LLC Research Engineering Center "Sintez" (86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia).

Marina V. Babotina, Senior Research Associate, LLC Research Engineering Center "Sintez" (86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia).

Vitaly R. Flid, D.Sc. (Chem.), Professor, Head of Ya.K. Syrkin Chair of Physical Chemistry, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia).

Alexander V. Sulimov, D.Sc. (Eng.), Professor of the Chair "Technology of Organic Substances", Dzerzhinsky Polytechnic Institute, R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University (49, Gaidara St., Dzerzhinsk, 606026 Russia).