

«Engineering and Consulting PFA Alexander Gadetskiy»  
<https://makston-engineering.ru/>

**MASTER**

Discipline: ethylene, ethylene oxide, carbonylation of ethylene oxide, propiolactone, acrylic acid, cobalt tetracarbonyl

Name: [Alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:Alexander.gadetskiy@inbox.lv)

Sign.

Date: 17.08.2020

Обновлено: 22.05.2024



**Аудит технологии производства акриловой кислоты  
135.000 т/год из этилена (окись этилена, карбонилирование до  
пропиолактона, перегруппировка до акриловой кислоты. Ба-  
зовый проект, расчет процесса и оборудования.**



Dipl. engineer Alexander Gadetskiy, phone: +40 (748) 148 257; e-mail: [alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:alexander.gadetskiy@inbox.lv)  
Certificate of registration on engineering activities and technical consultations № F4/172/17.02.2014  
Certificate of registration on engineering and technical consultancy activities № J4/918/09.06.2023.  
<https://makston-engineering.ru/>

## Содержание

1. Введение.....
2. Исходные данные переданные для выполнения технологического аудита.....
3. BFD схема процесса, материальный баланс, краткое описание технологии.....
4. Достаточность и обоснованность опросных листов на оборудование. Ценовые характеристики .....
5. Достаточность баланса энергоресурсов для обоснованности конфигурации ОЗХ и очистных сооружений производственных стоков.....
6. Базовое проектирование, создание реплики, лицензионные права .....
7. Выводы и рекомендации применительно к коммерциализации процесса.....

Полный комплект базового инжиниринга, является достаточно объемным документом <https://makston-engineering.ru/inzhenernyj-servis/post/bazovye-proekty-varianty>

Для аудита технологического процесса исходных данных представленных в этом разделе более чем достаточно, обычно используется не более половины <https://makston-engineering.ru/inzhenernyj-servis/post/bazovye-proekty-varianty#variant3>

Аудиты технологического процесса имеют два перпендикулярных направления:

1. Стандартное сравнение давно и хорошо изученных процессов по ряду показателей между собой <https://makston-engineering.ru/inzhenernyj-servis/post/tehnologicheskij-audit-proektnyh-reshenij-1>

- расходы сырье, катализаторов, химикатов
- расходы энергоресурсов
- удобство технологического обслуживания и технологический сервис
- регулирование процесса
- аппаратное оформление процесса
- удельные затраты на строительство.

Перечень можно дополнять, но это не меняет сути, т.к. по процессам известно все. Одним из примеров является сравнение между собой 7 (семи) технологий промышленного получения диметилкарбоната <https://makston-engineering.ru/bazovyy-proyekt-no4-new>

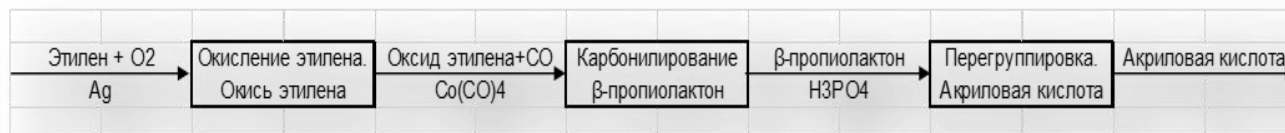
2. Определение возможности коммерциализации процессов, имеющих принципиально иную технологическую конфигурацию, использующих каталитические системы отличные от применяемых ранее, имеющих принципиально иное аппаратное оформление и. т.д. Примером является нынешний отчет по аудиту.

## 1. Введение

Разработчики дизайн-проекта предложили к рассмотрению следующую технологическую последовательность:

- производство окиси этилена (ОЭ) 90 т.т/год по классической технологии. Окисление этилена кислородом на серебряном катализаторе в трубчатом реакторе.
- производство полуфабриката β-пропиолактона карбонилирование окиси этилена (ОЭ) монооксидом углерода с использованием катализатора  $\text{Co}(\text{CO})_4$  – тетракарбонил кобальта, который является промышленным и имеет достаточное применение
- производство акриловой кислоты 135 т.т/год перегруппировкой β-пропиолактона в присутствии фосфорной кислоты, как катализатора

**Схема 1.**



Технологические данные переданные на аудит являются полным комплектом материалов дизайн-проекта, выполненного для завода акриловой кислоты мощностью 135 т.т/год. Производство окиси этилена находится в составе завода, работающего по технологии Shell на выпуск моно-, ди-, триэтиленгликолей, расширение выпуска окиси этилена (ОЭ) рассматривалось с условием положительного заключения аудиторов технологии.

## 2. Исходные технологические данные переданные для выполнения аудита

Исходные данные на процесс синтеза окиси этилена не предоставлялись, так как является давно и успешно эксплуатируемым.

Исходные данные на карбонилирование окиси этилена до пропиолактона в присутствии катализатора – тетракарбонила кобальта предоставлены в общем объеме текстового и табличного материала – **270 листов**.

Исходные данные на перегруппировку пропиолактона до акриловой кислоты в присутствии катализатора – фосфорной кислоты предоставлены в общем объеме текстового и табличного материала – **187 листов**.

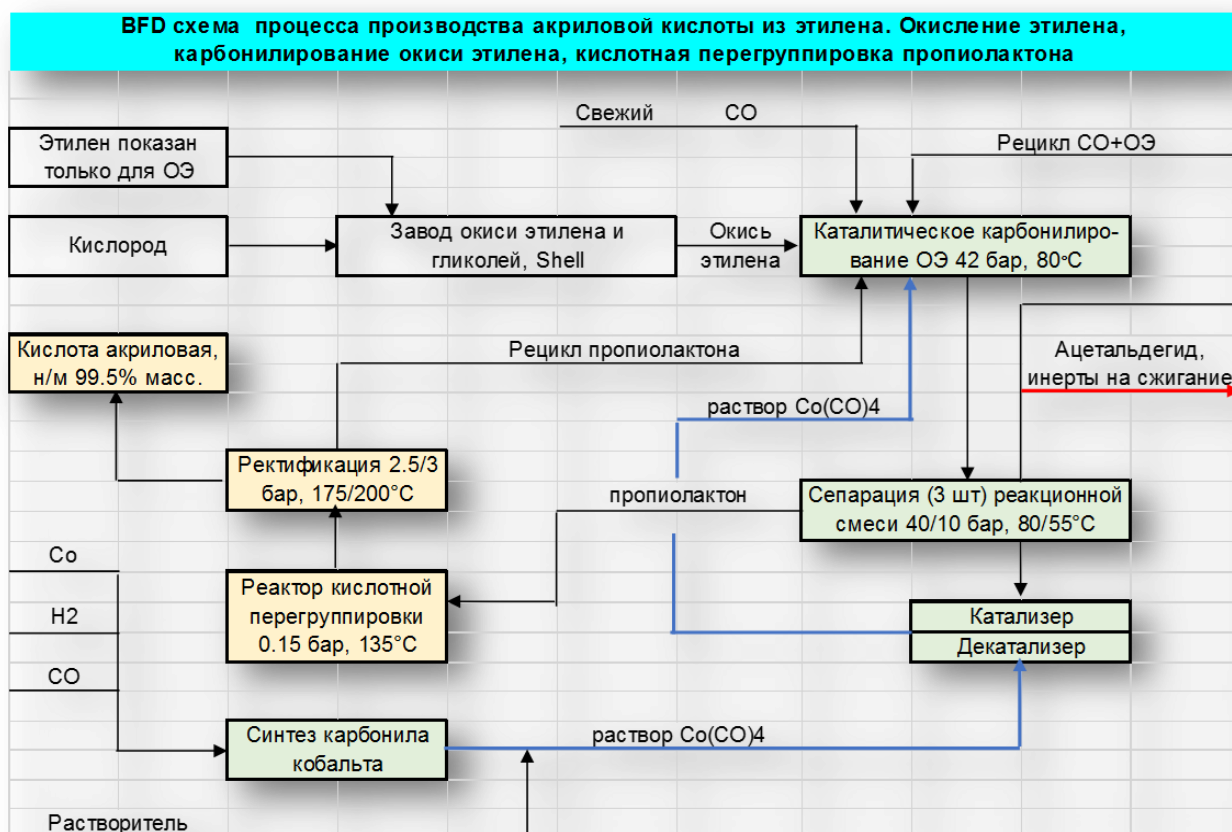
## 3. BFD схема процесса, материальный баланс и краткое описание технологии

Материальный баланс процесса представлен в **Таблице 1**. Промежуточные продукты процесса: окись этилена 11074.34 кг/час, β-пропиолактон 16949.25 кг/час.

Таблица 1.

Материальный баланс производства акриловой кислоты из этилена. Окисление этилена, карбонилирование окиси этилена, кислотная перегруппировка пропиолактона				
Сырьё	% масс	т/год	кг/час	
Этилен	45.63%	64,824.00	8,103.00	
Кислород	37.49%	53,259.20	6,657.40	
Монооксид углерода	16.88%	23,972.00	2,996.50	На карбонилирование
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>142,055.20</b>	<b>17,756.90</b>	
Продукты переработки	% масс	т/год	кг/час	
Кислота акриловая, н/м 99.5% масс.	94.87%	134,772.93	16,846.62	На склад хранения
Эмиссии (ацетальдегид)	3.69%	5,235.12	654.39	Очистка и сжигание
Жидкие отходы	1.44%	2,047.20	255.90	Нейтрализация и биологическая очистка
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>142,055.25</b>	<b>17,756.91</b>	

## Схема 1



Описание производство окиси этилена не предоставлено, так как успешно и давно эксплуатируется.

**Производство полуфабриката β-пропиолактона** карбонилирование окиси этилена (ОЭ) монооксидом углерода с использованием катализатор  $\text{Co}(\text{CO})_4$  – тетракарбонил кобальта. Материалы по синтезу карбонила кобальта, узлам катализера (отложения металлического кобальта) и декатализера (карбонилирование кобальта) – отсутствуют в представленном дизайн-проекте.

Процесс карбонилирования выполняется в трех реакторах, работающих при давлении 42 бар температуре 80°C. Первый из реакторов, является основным, второй реактор имеет нагрузку по свежему сырью 1/3 от первого реактора, а остальная мощность нагружается рециклом и третий реактор работает только на доработке рецикла. Реакционная масса от всех трех реакторов подается на сепарацию, состоящую из трех сепараторов, за счет перепада давления. Давление и температура в последнем сепараторе составляет 10 бар и 40°C. Жидкие продукты после последнего сепаратора подаются насосом 35°C/10 бар на колонну ректификации работающую под давлением 6.5 бар при температуре верха 180°C и куба 255°C. Верхний продукт колонны – пропиолактон подает-

ся на колонну в качестве флегмы, а балансовое количество откачивается на установку производства акриловой кислоты.

Кубовым продуктом колонны является растворитель с кобальтовой суспензией, который насосом через нагреватель подается на декатализер.

**Перегруппировкой  $\beta$ -пропиолактона** в присутствии фосфорной кислоты, как катализатора. Пропиолактон после отделения от растворителя подается в реактор работающий при давлении 0.13 бар и температуре 135°C. Реакционная масса насосом подается в колонну ректификации работающей по верху 175°C/2.5 бар и по кубу 200°C/3.0 бар. Верхним продуктом колонны являются пары пропиолактона, которые после конденсации и охлаждения отправляются рециклом на карбонилирование. Кубовым продуктом колонны является товарная акриловая кислота, которая после охлаждения отправляется на склад. Обогрев основной колонны ректификации производится высокотемпературным органическим теплоносителем.

#### **4. Достаточность и обоснованность опросных листов на оборудование. Ценовые характеристики**

В **Таблице 2** приведено основное оборудование процесса 44 единицы для карбонилирование ОЭ и 57 единиц для перегруппировки  $\beta$ -пропиолактона. В технологических опросных листах указываются все данные (материал, параметры, эскизы и т.д.) которые предполагаются для этого документа. Определение стоимости по части оборудования, которое отмечено в таблице фоном, возможно с точностью не выше 50%, но большая часть может быть оценена с точностью 30%.

**Таблица 2.**

////////////////////////////////////

В **Таблице 3** представлена оценка стоимости переданного оборудования, что составляет 148.9 млн. долл.

**Таблица 3.**

////////////////////////////////////

#### **5. Достаточность баланса энергоресурсов для обоснованности конфигурации ОЗХ и очистных сооружений производственных стоков**

Расходы энергоресурсов по процессу, а также представленные объемы хранения могут являться исходными данными для проектирования объектов ОЗХ. Расходные показатели представлены в **Таблице 4**, объекты ОЗХ с характеристиками в **Таблице 5**.

**Таблица 4**

////////////////////////////////////  
**Таблица 5**  
 //////////////////////////////////////

В документации по ОЗХ не представлена:

- очистка эмиссий, в том числе и сжигание
- очистка сточных вод процесса
- выделение тяжелых кубовых остатков

В отношении производства кислорода, водорода и монооксида углерода указывается, что подача производится со стороны с параметрами, которые требуются.

Приготовление катализатора – тетракарбонила кобальта и его регенерация производится на стороне с параметрами, которые требуются

### **6. Базовое проектирование, создание реплики, лицензионные права**

Разработчики технологии в настоящий момент выполнили:

- симуляцию достаточно редкого процесса каталитического карбонилирование окиси этилена

- кинетическая модель процесса каталитического карбонилирование окиси этилена не разрабатывалась

- полный материальный и тепловой баланс для процесса каталитического карбонилирование окиси этилена **противоречит материалам по гидроформилированию окиси этилена выполненным в других лабораториях и пилотах**

- блок ректификации пропиолактона от растворителя выполнен в первичной симуляции и будет дорабатываться

- синтез тетракарбонила кобальта не рассматривался, так как выполняется на стороне и соответствует требуемому качеству

- узел катализера (отложения металлического кобальта) и декатализера (карбонилирование кобальта) не рассматривался или не предъявлен к аудиту, так как входит в состав сервисного обслуживания изготовителя катализатора

- применяемый растворитель не имеет подтверждения в аналогичных процессах карбонилирования

- симуляцию кислотной перегруппировки пропиолактона в акриловую кислоту

- кинетическая модель процесса не разрабатывалась

- полный материальный и тепловой баланс подтверждается материалами по кислотной перегруппировке пропиолактона выполненным на пилотах

- блок ректификации пропиолактона от акриловой кислоты выполнен в первичной симуляции и вероятно, что не ограничится использованием одной колонны, так как имеются азеотропные смеси, которые проигнорированы

- узел выделения катализатора – фосфорной кислот не рассматривался или не предъявлен к аудиту

- реакторный блок выполнен в детальной симуляции с учетом циркуляции охлаждающего агента по межтрубному пространству

- //////////////////////////////////////

- //////////////////////////////////////

- //////////////////////////////////////

### 7. Выводы и рекомендации применительно к коммерциализации процесса

**Вывод.** Представленные материалы должны быть полностью переработаны процесс-инженерами, так как симуляция процесса без каких-либо подтверждений лабораторные и даже пилотные испытания, как бы хорошо она не была выполнена не может являться основой для базового инжиниринга и масштабирования процесса.