

**AFINA CHEMISTRY BASIC DESIGN S.R.L.**

[afinachem.design@gmail.com](mailto:afinachem.design@gmail.com)

MASTER

Discipline: propane oxidation, acrylic acid, oxidative dehydrogenation of propane, molybdenum-tellurium-niobium catalyst

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

Date: 11.05.2024 Обновлено 12.09.2025

Sign

Sign

**ООО «ЭНКИ-АФИНА»**

Специальная химия.

MASTER

Discipline: propane oxidation, acrylic acid, oxidative dehydrogenation of propane, molybdenum-tellurium-niobium catalyst

Name: [enkyafina@gmail.com](mailto:enkyafina@gmail.com)

Sign.

Date: 11.05.2024 Обновлено 12.09.2025

**Акриловая кислота, 80.000 т/год. Окислительное дегидрирование пропана на Mo-V-Te-Nb-O катализаторе. Аудит технологии на 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://enky-afina.ru/bazovyj-1>

Для аудита технологического процесса исходных данных представленных в этом разделе более чем достаточно, обычно используется не более половины <https://enkyafina.ru/bazovyj-3>

Аудиты технологического процесса имеют два перпендикулярных направления:

1. Стандартное сравнение давно и хорошо изученных процессов по ряду показателей между собой <https://enky-afina.ru/audity-1-4>

- расходы сырье, катализаторов, химикатов
- расходы энергоресурсов
- удобство технологического обслуживания и технологический сервис
- регулирование процесса - аппаратурное 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://enky-afina.ru/konceptualnii-proekt-n2k>

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

## 1. Введение

Процесс каталитического окисления пропана начал активно разрабатываться в США с начала 90-х годов для его использования из сланцевого газа минуя стадию дегидрирования в пропилен. В качестве каталитических систем были подобраны катализаторы: V-Sb-W-Mo-O, Mo-V-Te-Nb-O с промоторами Ce и Zr и пирофосфат ванадила (Vanadyl pyrophosphate  $(VO)_2P_2O_7$ ). Работа катализатора на основе пирофосфата ванадила предполагалась по аналогии с окислением н-бутана до малеинового ангидрида. Работа катализаторов V-Sb-W-Mo-O, Mo-V-Te-Nb-O по схеме окислительного дегидрирования.

Технологические данные переданные на аудит являются полным комплектом материалов дизайн-проекта, выполненного для завода акриловой кислоты мощностью 80 т.т/год. Разработчики дизайн-проекта предполагали, что патентованная каталитическая система Mo-V-Te-Nb-O будет коммерциализирована и может быть импортирована в проект по фиксированной цене, но к сожалению информация о коммерциализации отсутствует.

## 2. Исходные технологические данные переданные для выполнения аудита

Исходные данные на процесс каталитического окисления пропана до акриловой кислоты, предоставлены в общем объеме текстового и табличного материала – **436 листов.**

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

На схеме не показано:

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

Количество рециркулирующих продуктов реакции до 221.405 кг/час, в балансе не приводится, но состав рецикла указан на схеме.

Схема 1.

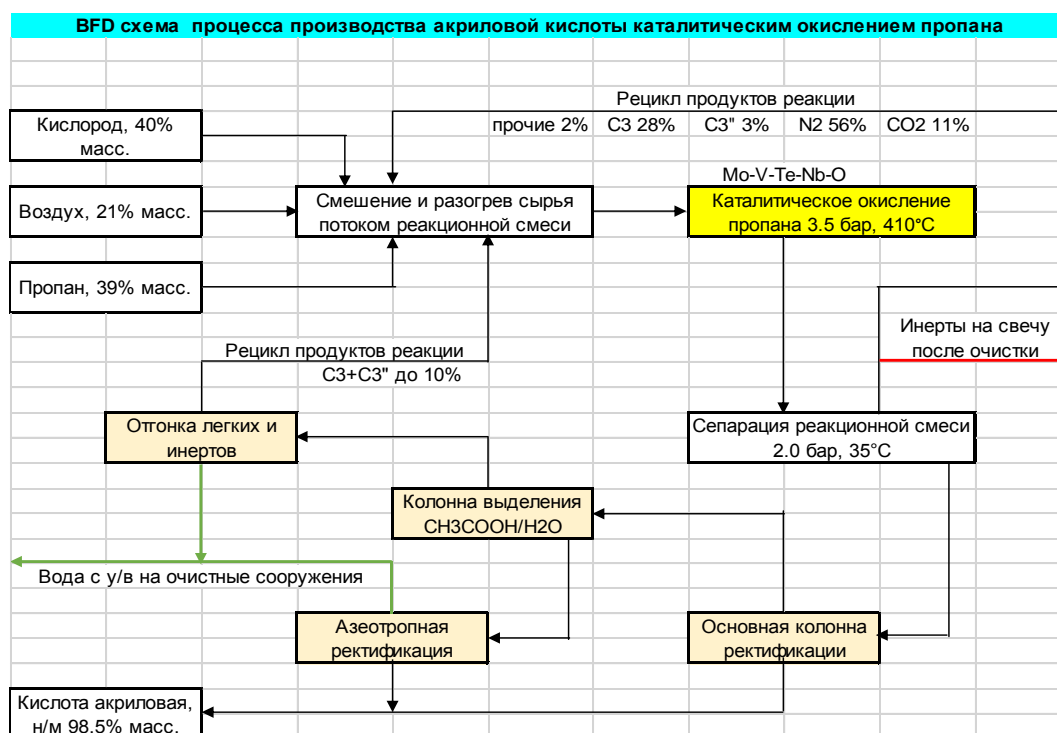


Таблица 1.

Материальный баланс производства акриловой кислоты каталитическим окислением пропана				
Сырьё	% масс	т/год	кг/час	
Пропан, н/м 99.0% масс.	39.30%	74,633.80	8,992.02	
Воздух	21.03%	39,933.63	4,811.28	

Кислород, н/м 99.0 об.	39.67%	75,338.55	9,076.93	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>189,905.98</b>	<b>22,880.24</b>	
Продукты переработки	% масс	т/год	кг/час	
Кислота акриловая, н/м 98.5% масс.	42.13%	80,000.00	9,638.55	На склад хранения
Эмиссии	28.54%	54,196.10	6,529.65	Очистка и сброс на свечу
Жидкие отходы	29.34%	55,709.88	6,712.03	Нейтрализация и биологическая очистка
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>189,905.98</b>	<b>22,880.24</b>	

Процесс окисления ведется вертикальном трубчатом реакторе, трубки которого заполнены катализатором на основе Mo-V-Te-Nb-O и инертным материалом.

Подача пропана, воздуха и кислорода в реактор осуществляется через смеситель и далее через газовый теплообменник-рекуператор, который обогревается продуктами реакции. Температура процесса 400-410°C при давлении 3.3-3.5 бар.

Процесс сильно экзотермический и для снятия тепла используется высокотемпературный органический теплоноситель, который циркулирует по межтрубному пространству реактора. После реактора теплоноситель отдает часть своего тепла для выработки насыщенного водяного пара 226°C/25 бар и далее используется для обогрева основной колонны ректификации и колонны отгонки легких и инертных.

Реакционная смесь отдает свое тепло сырью и доохлаждается в водяном холодильнике после чего с температурой 35°C/3.1-3.3 бар поступает в сепаратор. Газы с верха сепаратора, состав приведен на **Схеме 1**, поступают на всас циркуляционного компрессора и возвращаются в процесс через смеситель.

Жидкие продукты после сепаратора подаются насосом 35°C/10 бар на основную колонну ректификации, работающую под давлением 6.5 бар при температуре верха 160°C и куба 215°C. Верхний продукт колонны, состоящий из воды до 70% масс., акриловой и уксусной кислот, н/б 15% масс., а также из пропана и пропилена в паровой фазе, н/б 11% масс., подается за счет перепада давления в колонну отгонки воды и уксусной кислоты. Кубовым продуктом колонны является акриловая кислота с содержанием основного вещества, н/м 98.5% масс. После охлаждения продукт направляется на склад.

Обогрев основной колонны ректификации производится высокотемпературным органическим теплоносителем.

Паровая фаза с верха основной колонны ректификации подается в колонну отгонки воды и уксусной кислоты, работающей по верху 146°C/4.7 бар и по кубу 152°C/5.3 бар. Верхний продукт колонны, *состоящий на 75% из 7% уксусной кислоты, а также не больших количеств акриловой кислоты, остатков пропана и пропилена*, в паровой фазе подается за счет перепада давления в колонну отгонки легких и инертных. Кубовый

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/>

продукт колонны, *состоящий из акриловой кислоты и вода (35/65% масс.)*, за счет перепада давления подается в колонну азеотропной ректификации предварительно подогреваясь в паровом подогревателе до 190°C.

Обогрев колонны отгонки воды и уксусной кислоты не производится, так как тепла, поступающего с сырьем, является достаточно.

Паровая фаза с верха колоны отгонки уксусной кислоты и воды подается в колонну отгонки легких и инертных работающих по верху 125°C/4.0 бар и по кубу 130°C/4.4 бар. Верхний продукт колонны, состоящий из пропана и пропилена до 10% масс., а также диоксида углерода, азота, поступает на всас циркуляционного компрессора и возвращаются в процесс через смеситель. Кубовым продуктом колонны является вода с остатками углеводородов – подается на очистные сооружения.

Обогрев колонны отгонки легких и инертных производится высокотемпературным органическим теплоносителем.

Кубовый продукт колонны отгонки разбавленной уксусной кислоты, *состоящий из акриловой кислоты и вода (35/65 % масс)*, за счет перепада давления подается в колонну азеотропной ректификации предварительно подогреваясь в паровом подогревателе до 190°C. Колонна азеотропной ректификации работает по верху 147°C/4.1 бар и по кубу 182°C/4.5 бар. Верхним продуктом колонны являются водяные пары с углеводородами, которые после конденсации и охлаждения отправляются на очистные сооружения. Кубовым продуктом колонны является товарная акриловая кислота, которая после охлаждения смешивается с акриловой кислотой из основной колонны и отправляется на склад.

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

В **Таблице 2** приведено основное оборудование процесса 54 единицы. В технологических опросных листах 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 52.9 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
- регенерация катализатора

В отношении производства кислорода указывается, что подача производится со стороны с параметрами, которые требуются

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

Разработчики технологии в настоящий момент выполнили:

- выбор катализатора на основе каталитической системы Mo-V-Te-Nb-O, которая является патентованной и может быть оформлена лицензией, но в документации отсутствует информация о ее коммерциализации
  - кинетическую модель процесса, являющуюся собственной разработкой авторов и именно она была использована для первичной симуляции
  - полный материальный и тепловой баланс процесса с очень высокой степенью детализации
  - определены кинетические параметры в интервале температур от 290 до 450°C и давлений от 2.0 до 5.0 бар. Выбраны оптимальные параметры.
- реакторный блок выполнен в детальной симуляции с учетом циркуляции охлаждающего агента по межтрубному пространству
- проводилась детализация для трубчатого реактора окисления по снятию тепла реакции с использованием высокотемпературного органического теплоносителя

- блок ректификации выполнен в первичной симуляции и будут дорабатываться  
*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/>*

- проводилась детализация по блоку колонн с разделением потоков азеотропов: вода-акриловая кислота, вода-уксусная кислота и акриловая кислота-уксусная кислота всего было выделено 54 двенадцати компонентных потока, что является более чем достаточным не только для дизайн-студии, но и для базового проекта.

- //

- //

- //

## 7. Выводы и рекомендации применительно к коммерциализации процесса

7.1 Представленные материалы являются наиболее полными из всех известных дизайн-проектов по производству акриловой кислоты каталитическими методами из пропана.

7.2 Выполнение базового проекта является обязательным условием.

7.3 Определение технико-экономических показателей на основе выполненного базового проекта применительно к стране строительства является обязательным условием.

7.4 Определение рынка пропана применительно к стране строительства, на усмотрение инвестора.

7.5 Инвестор, на основании базового проекта имеет полное право провести патентование и лицензирование процесса.

Особые условия применительно к разработчику технологии

7.6 //

7.7 //

7.8 //

**Вывод.** Представленные материалы являются полноценной основой для базового инжиниринга. Основным отрицательным фактором является отсутствие сведений о коммерциализации каталитической системы Mo-V-Te-Nb-O для процесса производства акриловой кислоты окислительным дегидрированием пропана.