



**ИнфоМайн** 

**исследовательская группа**

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,  
металлургии и химической промышленности

---

# Обзор рынка промышленных катализаторов в России

*Издание 3-е,  
дополненное и переработанное*

*Демонстрационная версия*

**Москва  
август, 2010**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	13
<b>I. Классификация катализаторов</b> .....	15
I.1. Классификация катализаторов по областям применения .....	15
I.1.1. Нефтепереработка.....	17
I.1.2. Производство серной кислоты .....	22
I.1.3. Производство аммиака, технического водорода .....	24
I.1.4. Дегидрирование углеводов.....	26
I.1.5. Селективное окисление углеводов.....	28
I.1.6. Гидрирование углеводов .....	30
I.1.7. Очистка газовых выбросов.....	34
I.1.8. Нейтрализация автомобильных выхлопов.....	36
I.2. Классификация катализаторов по химическому составу.....	38
<b>II. Сырье для производства катализаторов, основные поставщики сырья и направления поставок</b> .....	41
<b>III. Производство катализаторов в РФ</b> .....	46
III.1. Номенклатура выпускаемых в России катализаторов .....	46
III.2. Динамика производства катализаторов в РФ в 2001-2009 годах.....	56
III.3. Основные предприятия-производители катализаторов в РФ и их текущее состояние .....	60
III.3.1. ЗАО "Новокуйбышевская нефтехимическая компания" (г. Новокуйбышевск, Самарская обл.).....	64
III.3.2. ОАО "Газпромнефть-Омский нефтеперерабатывающий завод" (г. Омск) .....	68
III.3.3. ООО "Салаватский катализаторный завод" (ОАО "Салаватнефтеоргсинтез") (г. Салават, Республика Башкортостан) ....	75
III.3.4. ООО "Техметалл-2002" (ЗАО "Уралтехногенмет") (г. Кировград, Свердловская обл.).....	79
III.3.5. ОАО "Катализатор" (г. Новосибирск) .....	84
III.3.6. ЗАО "Катализатор" (г. Дорогобуж, Смоленская обл.) .....	92
III.3.7. ОАО "Ангарский завод катализаторов и органического синтеза" (г. Ангарск, Иркутская обл.) .....	98
III.3.8. ЗАО "Промышленные катализаторы" (г. Рязань) .....	112
III.3.9. ООО "Новокуйбышевский завод катализаторов" (г. Новокуйбышевск, Самарская обл.).....	119
III.3.10. ЗАО "Редкинский катализаторный завод" (г. Редкино, Тверская обл.).....	124
III.3.11. ЗАО "Нижегородские сорбенты" (г. Нижний Новгород) .....	131
III.3.12. ОАО "Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов" (г. Екатеринбург) .....	137

III.3.13. ЗАО "Самарский завод катализаторов" (пос. Новосемейкино, Самарская обл.) .....	144
III.3.14. ОАО "Елизаветинский опытный завод" (г. Екатеринбург) .....	147
III.3.15. ООО "Щелковский катализаторный завод" (г. Щелково, Московская обл.) .....	151
III.3.16. ООО "НИАП-Катализатор" (г. Новомосковск, Тульская обл.) .....	156
III.3.17. ОАО "Синтез-Каучук" (г. Стерлитамак, Башкортостан) .....	165
III.3.18. ОАО НИИ "Ярсинтез" (г. Ярославль) .....	168
III.3.19. ООО "Томскнефтехим" (г. Томск) .....	171
III.3.20. ОАО "Казаньоргсинтез" (г. Казань, Татарстан) .....	175
III.3.21. ЗАО "Алтайлюминофор" (Алтайский край) .....	178
III.3.22. ОАО ЭНПО "Неорганика" (г. Электросталь, Московская обл.) .....	180
III.3.23. ОАО "Уральский электрохимический комбинат" (г. Новоуральск, Свердловская обл.) .....	182
III.3.24. ООО "РосЭко, каталитические нейтрализаторы" (г. Тольятти, Самарская обл.) .....	187
III.3.25. ОАО "АвтоВАЗагрегат" (г. Тольятти, Самарская обл.) .....	189
III.4. Иностранные компании, основавшие в России свои дочерние предприятия по выпуску катализаторов .....	191
III.5. Основные научные организации России, занимающиеся разработкой технологии и номенклатуры катализаторов .....	193
<b>IV. Экспорт и импорт катализаторов в России</b> .....	<b>205</b>
IV.1. Объем экспорта-импорта катализаторов в 2001-2009 гг. ....	205
IV.2. Основные направления экспортно-импортных поставок катализаторов в 2001-2009 гг. ....	210
IV.3. Основные зарубежные компании-поставщики катализаторов в Россию .....	215
IV.3.1. W.R. Grace & Co (США) .....	217
IV.3.2. BASF Catalysts (Германия), Engelhard Technologies (США) .....	218
IV.3.2. BASF Catalysts (Германия), Engelhard Technologies (США) .....	219
IV.3.3. Süd-Chemie (Германия) .....	225
IV.3.4. ООО "Зюд-Кеми Алвиго Кетелистс Украина" ("ЗКАК Украина") (г. Северодонецк, Луганская обл., Украина) .....	227
IV.4. Динамика экспортно-импортных цен на катализаторы .....	234
IV.4.1. Среднеэкспортные цены на катализаторы в 2001-2009 гг. ....	236
IV.4.2. Среднеимпортные цены на катализаторы в 2001-2009 гг. ....	238
<b>V. Потребление катализаторов в России по направлениям использования</b> .....	<b>241</b>
V.1. Баланс потребления катализаторов в России в 2001-2009 гг. ....	241
V.2. Структура потребления катализаторов в России в 2009 году .....	243
V.3. Основные предприятия-потребители, их проекты развития производства .....	253

V.3. Основные предприятия-потребители, их проекты развития производства .....	253
V.3.1. ОАО "Нижнекамскнефтехим" (г. Нижнекамск, Республика Татарстан).....	257
V.3.2. ООО "Газпром добыча Астрахань" (п. Аксарайский, Астраханская обл.).....	269
V.3.3. ОАО "Московский нефтеперерабатывающий завод" (г. Москва)..	274
<b>VI. Переработка использованных катализаторов, в том числе содержащих металлы платиновой группы .....</b>	<b>281</b>
VI.1. ЗАО "Кыштымский медеэлектролитный завод" (г. Кыштым, Челябинская обл.).....	285
VI.2. ОАО "Приокский завод цветных металлов" (г. Касимов, Рязанская обл.).....	287
<b>VII. Прогноз производства и потребления катализаторов в России на период до 2015 г. ....</b>	<b>291</b>
<b>Адресная книга российских предприятий-производителей катализаторов .....</b>	<b>300</b>
<b>Адресная книга зарубежных предприятий-производителей катализаторов .....</b>	<b>303</b>
<b>Адресная книга российских предприятий-потребителей катализаторов .</b>	<b>304</b>

## СПИСОК ТАБЛИЦ

- Таблица 1: Основные направления использования каталитических процессов в промышленности РФ
- Таблица 2: Сравнение катализатора ПР-51 с зарубежными аналогами
- Таблица 3: Основные характеристики катализаторов риформинга (диаметр зерен 1,8-2,8 мм; средний коэффициент прочности – 13 Н/мм)
- Таблица 4: Сравнительный анализ параметров производства формальдегида окислением метанола на различных катализаторах
- Таблица 5: Основные типы каталитических систем для газоочистки
- Таблица 6: Основные виды сырья для производства катализаторов и поставщики
- Таблица 7: Номенклатура и характеристика катализаторов, выпускаемых в РФ
- Таблица 8: Химический состав сплавов, применяемых для производства платиноидных катализаторов
- Таблица 9: Характеристика катализаторных сеток из "Сплава №1"
- Таблица 10: Российские производители катализаторов
- Таблица 11: Производство катализаторов по предприятиям в 2001-2009 гг., тыс. т
- Таблица 12: Технические характеристики катализаторов ИМ-2201 и "Никель на кизельгуре", выпускаемых ЗАО "ННК"
- Таблица 13: Поставки сырья ЗАО "ННК" в 2006-2009 гг., т
- Таблица 14: Основные потребители катализатора производства ЗАО "ННК" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 15: Технические характеристики катализаторов нефтепереработки, производимых ОАО "Омский НПЗ", и сравнение их с зарубежными аналогами
- Таблица 16: Поставки сырья ОАО "Омский НПЗ" в 2006-2009 гг., т
- Таблица 17: Поставки сырья ООО "СкатЗ" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 18: Основные потребители катализатора производства ООО "СкатЗ" ("Салаватнефтеоргсинтез") в 2002-2009 гг., т
- Таблица 19: Технические характеристики катализатора марки СВД (КД), выпускаемого ООО "Техметалл-2002" (ТУ 48-0323-6-90 с изм. 1,2,3)
- Таблица 20: Основные потребители катализаторов производства ООО "Техметалл-2002" в 2001-2009 гг., т
- Таблица 21: Поставки отработанных катализаторов в ООО "Техметалл-2002", т
- Таблица 22: Поставки сырья в ОАО "Катализатор" (Новосибирск) в 2002-2009 гг., т
- Таблица 23: Технические характеристики катализатора марки АОК-73-21, выпускаемого ОАО "Катализатор", Новосибирск (ТУ 6-68-170-00)
- Таблица 24: Палладийсодержащие катализаторы, разработанные ОАО "Катализатор" (Новосибирск)
- Таблица 25: Основные потребители катализаторов производства ОАО "Катализатор" (Новосибирск) в 2001-2009 гг., т

- Таблица 26: Номенклатура катализаторов, выпускаемых ЗАО "Катализатор" (Дорогобуж)
- Таблица 27: Поставки сырья в ЗАО "Катализатор" (Дорогобуж) в 2002-2009 гг., т
- Таблица 28: Основные потребители катализаторов производства ЗАО "Катализатор" (Дорогобуж) в 2001-2009 гг., т
- Таблица 29: Номенклатура катализаторов риформинга и изомеризации, выпускаемых ОАО "АЗКиОС"
- Таблица 30: Номенклатура катализаторов гидрирования, выпускаемых ОАО "АЗКиОС"
- Таблица 31: Номенклатура катализаторов гидроочистки, гидродеалкилирования и гидрокрекинга, выпускаемых ОАО "АЗКиОС"
- Таблица 32: Номенклатура катализаторов химии и нефтехимии, выпускаемых ОАО "АЗКиОС"
- Таблица 33: Поставки сырья в ОАО "АЗКиОС" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 34: Основные потребители катализаторов производства ОАО "АЗКиОС" в 2001-2009 гг., т
- Таблица 35: Перспективные направления развития ОАО "АЗКиОС"
- Таблица 36: Установки, работающие на катализаторах, выпускаемых ЗАО "Промышленные катализаторы"
- Таблица 37: Основные характеристики катализаторов гидрирования, выпускаемых ЗАО "Промышленные катализаторы"
- Таблица 38: Основные потребители катализаторов производства ЗАО "Промышленные катализаторы" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 39: Поставки сырья в ЗАО "Промышленные катализаторы" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 40: Поставки сырья в ООО "НЗК" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 41: Номенклатура катализаторов производства ЗАО "Редкинский катализаторный завод"
- Таблица 42: Характеристика носителей для катализаторов, выпускаемых ЗАО "Редкинский катализаторный завод"
- Таблица 43: Объем поставок алюминийсодержащего сырья на ЗАО "Редкинский катализаторный завод" в 2005-2009 гг., т
- Таблица 44: Основные страны-потребители катализаторов производства ЗАО "Редкинский катализаторный завод" в 2002-2009 г., кг
- Таблица 45: Разработанные ЗАО "Нижегородские сорбенты" технологии, внедренные в производство
- Таблица 46: Марки катализаторов, предлагаемых ЗАО "Нижегородские сорбенты"
- Таблица 47: Поставки сырья в ЗАО "Нижегородские сорбенты" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 48: Основные страны-потребители катализаторов производства ЗАО "Нижегородские сорбенты", т

- Таблица 49: Химический состав сплавов, используемых для изготовления катализаторных и улавливающих сеток ОАО "ЕЗ ОЦМ" (по основным компонентам)
- Таблица 50: Технические характеристики пакетов-уловителей ОАО "ЕЗ ОЦМ"
- Таблица 51: Ассортимент и объем выпуска сеток для азотной промышленности
- Таблица 52: Изменение средних биржевых цен на металлы в 2007-2010 гг., руб./грамм
- Таблица 53: Основные потребители катализаторов производства ЗАО "Самарский завод катализаторов" в 2004-2009 гг., т
- Таблица 54: Технические характеристики катализатора марки СВС 5 и СВС-В-4, выпускаемого ОАО "ЕОЗ"
- Таблица 55: Поставки сырья на "Елизаветинский опытный завод" в 2002-2006 гг., т
- Таблица 56: Основные потребители катализаторов производства ООО "Елизаветинский опытный завод", т
- Таблица 57: Марки катализаторов, выпускаемые ООО "Щелковский катализаторный завод"
- Таблица 58: Основные потребители катализаторов производства ООО "Щелковский катализаторный завод" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 59: Поставки сырья в ООО "ЩКЗ" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 60: Марки катализаторов, выпускаемые ООО "НИАП-Катализатор"
- Таблица 61: Поставки сырья в ООО "НИАП-Катализатор" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 62: Основные потребители катализаторов производства ООО "НИАП-Катализатор" в 2001-2009 гг., т
- Таблица 63: Марки катализаторов и объем производства ОАО "Синтез-Каучук" в 2008-2009 гг., т, млрд руб.
- Таблица 64: Поставки сырья в ОАО "Синтез-Каучук" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 65: Основные потребители катализаторов производства ОАО "Синтез-Каучук" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 66: Марки катализаторов, разработанные НИИ "Ярсинтез"
- Таблица 67: Результаты сравнительных испытаний в одинаковых условиях катализаторов дегидрирования изоамиленов
- Таблица 68: Поставки катализаторов зарубежных производителей на ОАО "Казаньоргсинтез" в 2006-2009 гг., тыс. т
- Таблица 69: Поставки сырья в ЗАО "Алтайлюминофор" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 70: Основные потребители катализаторов производства ЗАО "Алтайлюминофор" в 2002-2009 гг., т
- Таблица 71: Поставки сырья на УЭХК в 2002-2009 г. (импорт), т
- Таблица 72: Экспорт автомобильных катализаторов ОАО "УЭХК"
- Таблица 73: Результаты испытаний по токсичности отработавших газов автомобилей ВАЗ и ГАЗ на автокатализаторах ООО "РосЭко"
- Таблица 74: Структура производимой ОАО "АвтоВАЗагрегат" продукции в 2008-2009 гг. (тыс. руб., %)
- Таблица 75: Основные отечественные разработчики промышленных катализаторов

- Таблица 76: Внешняя торговля промышленными катализаторами в РФ в 2001-2009 гг., тыс. т\*
- Таблица 77: Внешняя торговля катализаторами, содержащими металлы платиновой группы, в РФ в 2001-2009 гг., т
- Таблица 78: Внешняя торговля автокатализаторами в РФ в 2001-2009 гг., т
- Таблица 79: Доля экспорта катализаторов в общем объеме их производства в РФ в 2001-2009 гг., тыс. т, %
- Таблица 80: Экспорт катализаторов российскими предприятиями в 2001-2009 гг., т
- Таблица 81: Основные страны-потребители российских катализаторов в 2001-2009 гг., т
- Таблица 82: Основные страны-поставщики катализаторов в Россию в 2001-2009 гг., тыс. т
- Таблица 83: Основные российские потребители импортных катализаторов в 2005-2009 гг., т
- Таблица 84: Основные производители катализаторов, поставляющие их в Россию в 2001-2009 гг., тыс. т
- Таблица 85: Основные российские потребители катализаторов, поставляемых компанией Grace в 2001-2009 гг., т
- Таблица 86: Марка и характеристика катализаторов, поставляемых компанией Grace в 2007-2009 гг., т
- Таблица 87: Основные российские потребители катализаторов, поставляемых компанией BASF и Engelhard Technologies в 2001-2009 гг., т
- Таблица 88: Объем поставок отработанного катализатора в 2001-2009 гг., т
- Таблица 89: Основные российские потребители катализаторов, поставляемых компанией Süd-Chemie в 2001-2009 гг., т
- Таблица 90: Номенклатура катализаторов, выпускаемых ООО "ЗКАК Украина"
- Таблица 91: Предприятия, эксплуатирующие катализаторы "ЗКАК"
- Таблица 92: Основные российские потребители катализаторов, выпускаемых ООО "ЗКАК Украина" в 2001-2009 гг., т
- Таблица 93: Доля катализаторов, содержащих драгметаллы, в общем объеме экспорта-импорта (%) и цена на эти катализаторы (\$/кг)
- Таблица 94: Экспортно-импортные цены на автокатализаторы в 2001-2009 гг., \$/кг
- Таблица 95: Среднеэкспортные цены на катализаторы, поставляемые российскими предприятиями в 2001-2009 гг., \$/кг
- Таблица 96: Цены зарубежных производителей катализаторов, поставляющих их в Россию в 2001-2009 гг., \$/кг
- Таблица 97: Среднеимпортные цены для российских потребителей катализаторов в 2005-2009 гг., \$/кг
- Таблица 98: Объемы потребления катализаторов в России в 2001-2009 гг., тыс. т
- Таблица 99: Объемы потребления катализаторов нефтепереработки и нефтехимии, содержащих платиноиды, в России в 2001-2009 гг., т



Таблица 100: Основные области применения катализаторов (т), доля импорта в потреблении для различных процессов (%), 2007, 2009 гг.

Таблица 101: Основные российские потребители катализаторов в 2005-2009 гг., т

Таблица 102: Условия проведения окисления этилена "воздушным" и "кислородным" способами и характеристики используемых серебряных катализаторов

Таблица 103: Поставки катализаторов на "НКНХ" в 2002-2009 гг., т

Таблица 104: Поставки катализаторов на "Газпром добыча Астрахань", т

Таблица 105: Основные поставщики катализаторов на ОАО "Московский НПЗ" в 2004-2009 гг., т

Таблица 106: Российские предприятия, имеющие мощности по переработке катализаторов

## СПИСОК РИСУНКОВ

- Рисунок 1: Динамика производства катализаторов в России в 2001-2009 гг., тыс. т
- Рисунок 2: Динамика производства катализаторов, содержащих металлы платиновой группы в РФ в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 3: Динамика производства катализатора ИМ-2201 в ЗАО "ННК" в 2000-2009 гг., тыс. т
- Рисунок 4: Динамика производства катализаторов (т) и объемы каталитического крекирования сырья (млн т) в ОАО "Омский НПЗ" в 2002-2009 гг.
- Рисунок 5: Динамика производства катализаторов в ООО "СкатЗ" ("Салаватнефтеоргсинтез") в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 6: Динамика производства катализаторов ООО "Техметалл-2002" в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 7: Динамика производства катализаторов ОАО "Катализатор" (Новосибирск) в 2002-2009 гг., т
- Рисунок 8: Динамика производства катализаторов ЗАО "Катализатор" (Дорогобуж) в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 9: Производство катализаторов ОАО "АЗКиОС" в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 10: Производство катализаторов ЗАО "Промышленные катализаторы" в 2000-2009 гг., т
- Рисунок 11: Производство катализаторов ООО "НЗК" в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 12: Комплексный менеджмент катализаторов в НК "Роснефть"
- Рисунок 13: Производство катализаторов ЗАО "Редкинский катализаторный завод" в 1999-2009 гг., т
- Рисунок 14: Производство катализаторов ЗАО "Нижегородские сорбенты" в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 15: Динамика производства катализаторных сеток ОАО "Ез ОЦМ" в 2005-2009 гг., т
- Рисунок 16: Динамика производства катализаторов на "Елизаветинском опытном заводе" в 2001-2009 гг.
- Рисунок 17: Динамика производства катализаторов на "Щелковском катализаторном заводе" в 2001-2009 гг., т
- Рисунок 18: Динамика производства катализаторов ООО "НИАП-Катализатор" в 2002-2009 гг., т
- Рисунок 19: Динамика производства катализаторов ОАО "Синтез-Каучук" в 2002-2009 гг., т
- Рисунок 20: Динамика производства катализаторов ЗАО "Алтайлюминофор" в 2002-2009 гг., т
- Рисунок 21: Производство автокатализаторов ОАО "УЭХК" в 1998-2009 гг., тыс. штук
- Рисунок 22: Структура Объединенного института катализа СО РАН
- Рисунок 23: Динамика экспортно-импортных поставок катализаторов в РФ в 2001-2009 гг., тыс. т

- Рисунок 24: Поквартальное изменение объемов импортных поставок катализаторов в РФ в 2004-2009 гг., тыс. т
- Рисунок 25: Доля экспорта катализаторов в объеме их выпуска для российских производителей в 2004-2009 гг., %
- Рисунок 26: Географическая структура экспорта катализаторов РФ в 2001-2009 гг., %
- Рисунок 27: Структура поставок катализаторов производства Süd-Chemie в РФ по областям применения в 2009 г.
- Рисунок 28: Динамика экспортно-импортных цен на катализаторы в 2001-2009 гг., \$/кг
- Рисунок 29: Структура потребления катализаторов в РФ в 2009 г., %
- Рисунок 30: Производство серы ООО "Газпром добыча Астрахань" в 1990-2009 гг., млн т
- Рисунок 31: Технологическая (поточная) схема Московского НПЗ
- Рисунок 32: Технологическая схема переработки катализаторов ОАО "Приокский завод цветных металлов"
- Рисунок 33: Прогноз объемов нефтепереработки в РФ до 2015 г., млн т
- Рисунок 34: Прогноз производства синтетических каучуков в РФ до 2015 г., млн т
- Рисунок 35: Прогноз производства аммиака в РФ до 2015 г., млн т
- Рисунок 36: Прогноз производства серы и серной кислоты в РФ до 2015 г., млн т

## ВВЕДЕНИЕ

**Катализаторами** в общем случае называются вещества, которые, вступая в промежуточное химическое взаимодействие с реагентами, вызывают увеличение скорости химических реакций, но восстанавливают свой химический состав при окончании каталитического акта и не входят в состав конечных продуктов.

подавляющее большинство химических процессов протекает в условиях применения катализаторов – более 90% всех химических превращений осуществляется с их использованием. При этом каждой химической реакции соответствует особенный, индивидуальный катализатор, зачастую подобранный эмпирическим путем и отличающийся химическим составом, пористой структурой, размером и формой гранул. Это обстоятельство обуславливает огромное количество известных на сегодня катализаторов, превышающее тысячу наименований.

С точки зрения химического состава катализаторы отличаются неоднородностью, обусловленной нанесением активной части на так называемую основу, в качестве которой используются различные природные и синтетические соединения, устойчивые в условиях процесса (активированные угли, окись алюминия, силикагель и др.).

Для производства катализаторов используют самые разные методы – осаждение из растворов, пропитку, смешение и сплавление с последующим выщелачиванием неактивной части, а также ряд других способов. При этом многие катализаторы перед использованием подвергаются специальной обработке – **активации**, в ходе которой происходит образование активного вещества и формирование пористой структуры.

Выбор катализатора для того или иного процесса определяется в основном технологическими и экономическими соображениями. Для оценки эффективности катализатора необходимо знать производительность (активность), селективность, ожидаемый срок службы, стоимость и др.

Специфичность действия проявляется не только в строгом соответствии определенного катализатора для каждого вида химических превращений, но и в определении направления протекания реакций: из одних и тех же исходных веществ в зависимости от вида катализаторов образуются различные продукты. Так, из смеси окиси углерода и водорода в присутствии различных катализаторов может быть получен метан, смесь жидких углеводородов, метиловый спирт (метанол) или другие виды продукции. Мерой специфичности катализаторов служит **избирательность** (или селективность) их действия, которая определяется как отношение скорости целевой реакции к общей скорости превращения исходных веществ в присутствии данного катализатора.

Другим важнейшим показателем каталитических свойств веществ является **каталитическая активность**, выражаемая в виде разности скоростей одной и той же реакции, измеренных в присутствии и в отсутствии катализатора при прочих равных условиях. Подобный показатель является удельным, поскольку обычно он относится к единице массы, объема, концентрации или поверхности катализатора.

Наряду с активностью и избирательностью действия, катализаторы характеризуются **стабильностью**, определяемой целесообразностью их промышленного использования в том или ином процессе и обуславливающей срок службы. Наиболее стабильные катализаторы работают более 10 лет (к их числу принадлежат ванадиевые соединения, применяемые для окисления CO<sub>2</sub>). В среднем же 15-20% всех используемых катализаторов ежегодно заменяются новыми. При этом необходимо подчеркнуть, что в ряде случаев существует возможность специальной обработки катализаторов, называемой **регенерацией**, в результате которой соединения приобретают утраченные свойства и направляются для повторного использования.

Катализаторы относятся к малотоннажным функциональным материалам и являются наукоемкой продукцией широкого межотраслевого применения, включая нефтепереработку, химию и нефтехимию, пищевую и фармацевтическую промышленности, экологию и энергетику. В России, по данным "ЦНИИТЭНефтехим", с применением катализаторов производится до 15% материальной составляющей ВВП. В США эта доля существенно выше и достигает 30%. Разработка новых катализаторов, обновление их ассортимента, расширение использования в различных сферах экономики определяют структуру, технический уровень и прогресс химических и смежных с ними отраслей промышленности.

Анализ современного состояния разработки и производства отечественных промышленных катализаторов показывает масштабный спад в областях их разработки, обновления ассортимента и модернизации производства по сравнению с годами, предшествующими развалу СССР. В результате этого в нефтегазовом секторе сложилась катализаторная зависимость от импорта, доля которого достигла 60% от общего потребления. Такое положение не отвечает национальным интересам и экономической безопасности России.

# І. Классификация катализаторов

## І.1. Классификация катализаторов по областям применения

До настоящего времени не разработано единой систематизации выпускаемых промышленностью катализаторов. В связи с этим классификация соединений осуществляется на основании следующих параметров:

а) **тип катализируемой реакции**, в соответствии с которым выделяются кислотно-основные и окислительно-восстановительные катализаторы;

б) **природа активного вещества**, на основании которой различаются металлические, сульфидные, металлоорганические, комплексные и др. катализаторы;

в) **группы каталитических процессов** или особенности их аппаратурно-технологического оформления (например, крекинга нефтепродуктов, синтеза аммиака и т.д.).

Именно последний вариант классификации представляется наиболее комплексным, поскольку предусматривает ориентацию на отраслевую структуру народного хозяйства страны.

В соответствии с выбранным подходом, каталитические процессы могут быть отнесены к одной из двух важнейших сфер их проведения: нефтеперерабатывающей или химической и нефтехимической промышленности.

В первом случае катализаторы используются в таких процессах нефтепереработки, как

- **крекинг**, основная цель которого сводится к получению моторных топлив, а также химического сырья в результате распада тяжелых углеводородов;

- **риформинг**, под которым в общем случае понимают переработку бензиновых и лигроиновых фракций нефти с получением высокооктановых бензинов и ароматических углеводородов;

- **гидроочистку** – процесс селективного гидрирования содержащихся в нефтепродуктах органических сернистых, азотистых и кислородных соединений, которые, присоединяя водород, образуют соответственно, сероводород, аммиак и воду и в таком виде удаляются из очищаемого продукта.

Наряду с процессами нефтепереработки, катализаторы широко используются в процессе **гидрогенизации** (реакции присоединения водорода к простым веществам и химическим соединениям), а также в химической и нефтехимической промышленности – при получении продуктов органического синтеза, кислот и полимеров (таблица 1).

**Таблица 1: Основные направления использования каталитических процессов в промышленности РФ**

Каталитические процессы		Тип катализаторов
<b>I. Нефтепереработка</b>		
Крекинг		Микросферические цеолитсодержащие алюмосиликаты, в том числе с добавками окислов редкоземельных элементов
Гидрогенизационные процессы	Гидроочистка	Алюмокобальтмолибденовые и алюмоникельмолибденовые соединения с добавками цеолитов и алюмосиликатов
	Гидрообессеривание	
	Гидрокрекинг	Модифицированный цеолит с гидрирующим металлом [металлы Pt-группы или оксиды никеля (кобальта), вольфрама (молибдена)] и связующим ( $Al_2O_3$ )
Риформинг		Платина (0,2-0,6%) на окиси алюминия с добавками хлора, фтора и редких металлов
<b>II. Гидрирование</b>		
Получение капролактама, анилина, спиртов, жиров (саломаса)		Металлы Pt-группы (платина, палладий), а также Ni и W на оксиде алюминия; серебро на алюмосиликате
<b>III. Химия и нефтехимия</b>		
Окисление этилена в окись этилена		Серебро, пористое металлическое или на инертных носителях
Окисление нафталина во фталевый ангидрид		Пятиокись ванадия, плавная или на носителях
Синтез газ, водород		Никель, окисные железо-хромовые, цинк-хромовые катализаторы
Синтез аммиака		Металлическое железо, промотированное окислами алюминия, кальция, калия и др.
Синтез метанола из окиси углерода		Окисные цинк-хромовые катализаторы и катализаторы, содержащие медь
Окисление аммиака в производстве азотной кислоты		Металлическая платина (сетка), сплавы платины с некоторыми металлами, реже катализаторы на основе окислов (кобальта, висмута, железа)
Окисление двуокиси серы в производстве серной кислоты		Ванадиевые катализаторы на носителях (обычно силикатных), активное вещество имеет состав $V_2O_5 \cdot mMe_3O \cdot nSO_3$ (где Me – щелочной металл);
Производство мономеров для синтетического каучука		Основные алюмохромовые и железохромовые, кальций-никель-фосфатные катализаторы, часто используемые в псевдооживленном слое; Платиновые и платино-рениевые катализаторы на основе оксида алюминия
Синтез винилхлорида из ацетилен		Хлорная ртуть (сулема) на активированном угле

*Источник: "ИнфоМайн"*

### **1.1.1. Нефтепереработка**

Катализаторы процессов нефтепереработки ускоряют каталитический крекинг, гидрообессеривание, гидрокрекинг, гидродеароматизацию, риформинг и др.

**Процесс каталитического крекинга нефтяных фракций** является одним из наиболее крупнотоннажных процессов нефтепереработки. Сущность процесса каталитического крекинга основана на расщеплении высокомолекулярных углеводородных соединений на более мелкие молекулы с перераспределением освобождающегося по месту разрыва связи "углерод-углерод" водорода в присутствии микросферического цеолитсодержащего катализатора.

Этот процесс актуален ещё и потому, что, являясь вторичным, существенно влияет на глубину переработки нефти и позволяет получить суммарный выход светлых нефтепродуктов до 85-87% за счёт выработки компонентов высокооктанового бензина, дизельного топлива, бутан-бутиленовой и пропан-пропиленовой фракций, а так же сухого газа (фр. C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>), используемого в качестве топлива для нужд НПЗ.

За длительный период своего развития каталитический крекинг значительно совершенствовался как в отношении способа контакта сырья и катализатора (в стационарном слое, в движущемся слое шарикового катализатора, в "кипящем" слое микросферического катализатора), так и в отношении применяемых катализаторов (таблетированные катализаторы на основе природных глин, шариковые синтетические алюмосиликаты, микросферические алюмосиликаты, в том числе и цеолитсодержащие).

Достигнутый прогресс обеспечил вовлечение в переработку все более тяжелого сырья. За последние годы увеличивается число установок, использующих в качестве сырья нефтяные остатки: мазуты, деасфальтизаты и их смеси с вакуумными дистиллятами (наиболее распространенный вариант в настоящее время – вакуумные газойли).

Для обеспечения максимального выхода целевых продуктов и минимального количества побочных, а также для достижения высоких технико-экономических показателей процесса катализатор крекинга должен иметь следующие основные свойства:

- высокую активность, определяющую большую глубину превращения исходного сырья при прочих равных условиях;
- высокую избирательность, которая оценивается способностью катализатора ускорять реакции в требуемом направлении, снижать скорость побочных реакций;
- стабильность. Стабильность активности, избирательности и механических свойств катализатора в процессе эксплуатации особенно важна в системах с кипящим слоем катализатора. Катализатор должен быть стойким к истиранию, растрескиванию и давлению вышележащих слоев, а также не должен изнашивать аппаратуру;
- высокую степень регенерации, характеризующуюся способностью быстро и многократно восстанавливать свою активность и избирательность при



окислительной регенерации без нарушения поровой структуры и разрушения частиц.

В настоящее время широко используются следующие виды катализаторов:

- шариковый цеолитсодержащий катализатор с редкоземельными элементами и платиной (производитель – "Салаватнефтеоргсинтез");
- микросферический алюмосиликатный цеолитсодержащий катализатор с редкоземельными элементами (Омский НПЗ).

**Процесс каталитического риформирования** широко используется для повышения детонационной стойкости бензинов и производства ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилола). Важнейшим продуктом процесса каталитического риформинга является также водород, который может быть использован на нефтеперерабатывающих предприятиях в процессах гидроочистки и других процессах гидрирования.

В основе каталитического риформинга лежит превращение нефтяной фракции с интервалами температур кипения 85–180°C в высокооктановый компонент моторного топлива. В начале 50-х годов было обнаружено, что платина, осажденная на оксид алюминия, является великолепным катализатором риформинга. Первые установки модернизированного процесса, названного платформинг (из-за использования платиновых катализаторов), работали при давлении 2-3 МПа. Затем начался процесс непрерывного совершенствования катализаторов и технологии риформирования прямогонных бензинов.

Развитие этого процесса переработки нефти шло по следующим основным направлениям: улучшение стабильности работы катализатора, увеличение степени превращения исходного сырья, увеличение селективности процесса, прежде всего, за счет увеличения образования ароматических углеводородов, улучшение и оптимизация технологических параметров процесса, прежде всего, в плане снижения давления процесса. В результате появились полиметаллические катализаторы. В них к платине добавляют рений, кадмий, галлий.

В настоящее время в качестве катализаторов этого процесса применяют, в основном, металлические платину и рутений, нанесенные на предварительно хлорированный носитель – оксид алюминия. По существующим представлениям о протекании этого процесса, диспергированный на поверхности носителя металл (платина) является катализатором реакций гидрирования-дегидрирования, а носитель (галоидированный оксид алюминия) – катализатором кислотного типа (изомеризации, крекинга, циклизации). Формы платины в катализаторе являются различными, и от их процентного присутствия зависит селективность процесса.

Безусловным лидером в области разработки современных катализаторов для процессов каталитического риформинга (ПР-50 и ПР-51) является "Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН". Технология производства катализаторов, разработанная в этом институте, была реализована в

промышленном масштабе в ЗАО "Промышленные катализаторы" (Рязань) и ОАО "Ангарский завод катализаторов и органического синтеза". Эти катализаторы (ПР-50 и ПР-51) в настоящее время с успехом эксплуатируются на установках платформинга ОАО "Рязанская НПК", ООО "Киришинефтеоргсинтез".

Отечественные катализаторы каталитического риформинга ничуть не уступают зарубежным аналогам (таблица 2), а в ряде технологических показателей, даже превосходят их. Важным преимуществом катализаторов серии ПР является снижение содержания бензола в бензине с одновременным ростом концентрации ароматических углеводородов  $C_8$  и  $C_9$ , имеющих большее чем бензол, октановое число. Это имеет существенное значение при получении товарных бензинов, в которых следует минимизировать содержание бензола и оптимизировать долю других ароматических углеводородов.

**Таблица 2: Сравнение катализатора ПР-51 с зарубежными аналогами**

Показатель	ПР-51	Зарубежный аналог
Выход бензин/водород, % по массе	86-88/2,0-2,2	82-85/1,6-2,0
Концентрация водорода в циркулирующем газе, % об.	83-86	73-80
Среднеинтегральная температура, °С	472	480
Суммарный перепад температур, °С	120-140	80-100
Выход ароматических углеводородов, % по массе:		
бензол	3,0	5,5
толуол	15,8	21,3
углеводороды $C_8$	26,0	23,0
углеводороды $C_9$	18,2	15,1
всего	63,0	64,9

*Источник: "Нефть, газ, промышленность" №4, 2004*

Основным путем повышения эффективности процесса каталитического риформинга является снижение давления в реакторном блоке и разработка новых методов синтеза катализаторов этого процесса.

Современные требования к процессу синтеза катализаторов:

- возможность регулировать состав и строение поверхностных соединений платины в соответствии с существующими представлениями о строении активных центров поверхности катализатора;
- возможность регулировать оптимальное распределение активного компонента в пористой структуре катализатора;
- возможность оптимизировать химический состав носителя и его пористой структуры.

Несколько лет назад в "Институте катализа СО РАН" разработаны две новые марки катализаторов риформинга ПР-61 и ПР-71. Свойства этих

катализаторов в сравнении с базовым катализатором ПР-51 приведены в таблице 3.

**Таблица 3: Основные характеристики катализаторов риформинга (диаметр зерен 1,8-2,8 мм; средний коэффициент прочности – 13 Н/мм)**

Марка катализатора	Содержание, % по массе		Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная поверхность, мг/г	Объем пор, см <sup>3</sup> /г
	Pt	Re			
ПР-51	0,25	0,30	670	230	0,67
ПР-61	0,24	0,30	670	250	0,68
ПР-71	0,23	0,35	680	280	0,63

Источник: "Нефть, газ, промышленность" №4, 2004

Сравнение активности катализаторов ПР-61 и ПР-71 с базовым катализатором ПР-51 позволило сделать следующие основные выводы:

- катализатор ПР-61 имеет практически одинаковую активность с базовым катализатором, но отличается большей селективностью риформинга;
- на катализаторе ПР-61 выход риформинг-бензина на 2-3% (по массе) выше, чем на ПР-51;
- на катализаторе ПР-61 достигается большая селективность ароматизации парафиновых углеводородов (58-60% против 49-51% на ПР-51);
- ПР-71 обладает большей активностью по сравнению с ПР-61 и ПР-51;
- с использованием катализатора ПР-71 октановые числа риформата на уровне 95-96 достигаются при температуре 464°C, а октановые числа 98-100 – при 474°C, что на 6-7°C меньше, чем для катализаторов ПР-51 и ПР-61;
- селективность процесса в присутствии ПР-71 занимает промежуточное положение между ПР-51 и ПР-61;
- основным достоинством катализатора ПР-71 является его повышенная активность при большей селективности в сравнении с ПР-61 и ПР-51.

В 2005 г. в ЗАО "Промышленные катализаторы" был освоен выпуск катализатора риформинга ПР-71 (катализатор загружен на установках ОАО "Саратовский НПЗ", ЗАО "РНПК", ООО "Линос", ОАО "НПК-Галичина").

**Гидрогенизационные процессы** – термokatалитическое преобразование нефтяного сырья под действием водорода. В зависимости от глубины и назначения воздействия водорода различают следующие разновидности гидрогенизационных процессов: *гидроочистка, гидрообессеривание и гидрокрекинг.*

На **катализаторы гидроочистки** (гидроочистка бензина, дизельных и реактивных топлив) приходится около 40% мирового рынка катализаторов для нефтепереработки. В ближайшие годы следует ожидать прогрессирующего ухудшения качества нефти, поэтому в переработку будет поступать все больше тяжелой и сернистой нефти. В связи с этим, а также из-за возрастания спроса на высококачественные топлива, обусловленного ужесточением экологических

требований, возрастает роль каталитических процессов гидроочистки. А, следовательно, будет возрастать и спрос на катализаторы гидроочистки.

В дизельных и бензиновых фракциях присутствие соединений содержащих серу, азот и кислород крайне нежелательно, поскольку ведет к ухудшению работы дизельных двигателей и двигателей внутреннего сгорания, вызывая образование нагаров и, так называемых, лаковых пленок. Содержание этих соединений нежелательно и с экологической точки зрения. *Гидроочистке* подвергаются не только товарные целевые фракции, но и сырьевые компоненты для других установок, в которых недопустимо или нежелательно присутствие сернистых, азотосодержащих, кислородосодержащих соединений и тяжёлых металлов.

При гидроочистке обычно применяются катализаторы: алюмокобальтмолибденовый АКМ (9-15%  $\text{MoO}_3$ , 2-4%  $\text{CoO}$ ) или алюмоникельмолибденовый АНМ (до 12%  $\text{NiO}$ , до 4%  $\text{CoO}$ ), носитель –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , иногда с добавками цеолитов, алюмосиликатов и др.

Установки гидроочистки бензина, в основном, работают на катализаторе АКМ. Используются также катализаторы АНМ, ГО, ГКБ и их смеси. На подавляющем большинстве установок гидроочистки дизельного топлива используются смеси катализаторов АКМ (АНМС) с катализаторами ГКД и ГС.

Вакуумный газойль, как сырье каталитического крекинга, подвергается *гидрообессериванию* с использованием катализатора ГО.

*Гидрокрекинг* – процесс, направленный на получение высококачественных керосиновых и дизельных дистиллятов, а также вакуумного газойля путём крекинга углеводородов исходного сырья в присутствии водорода. Одновременно с крекингом происходит очистка продуктов от серы, насыщение олефинов и ароматических соединений, что обуславливает высокие эксплуатационные и экологические характеристики получаемых топлив.

В России до последнего времени процесс гидрокрекинга практически не использовался. Гидрокрекинг дистиллятов был представлен импортной установкой мощностью 1 млн т в год, действующей на "Уфанефтехиме". С 1987 г. эта установка переведена на работу по двухстадийной технологии, разработанной во ВНИИНП, с использованием отечественных катализаторов НМГ-90 и ГК-8. В 2000-х годах введены мощности на заводах в Перми (2004), Рязани (2005), Ярославле (2005) и Уфе (2005), на ряде заводов установки гидроочистки реконструированы под процесс лёгкого гидрокрекинга. Ведется строительство установки в ОАО "Киришинефтеоргсинтез". Уже началось строительство установки гидрокрекинга в ОАО "Саратовский НПЗ". Планируется – на заводах ОАО "Роснефть" ("Комсомольский НПЗ", АНХК, "Туапсинский НПЗ"). Всего в ближайшие годы планируется построить 9 установок.

### 1.1.2. Производство серной кислоты

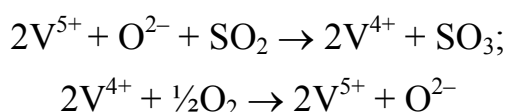
Все промышленные методы синтеза серной кислоты включают несколько этапов. Первым этапом является получение диоксида серы окислением (обжигом) серосодержащего сырья (необходимость в этой стадии отпадает при использовании в качестве сырья отходящих газов, так как в этом случае обжиг сульфидов является одной из стадий других технологических процессов). Следующий этап – превращение оксида серы (IV)  $\text{SO}_2$  в оксид серы (VI)  $\text{SO}_3$ . Этот окислительный процесс характеризуется очень высоким значением энергии активации, для понижения которой необходимо, применение катализаторов. Заключительная стадия – абсорбция (т.е. взаимодействие  $\text{SO}_3$  с водой).

Вторая стадия производства серной кислоты – окисление диоксида серы – реализуется двумя способами, отличающимися методом окисления  $\text{SO}_2$  – контактным (с использованием твердых катализаторов) и нитрозным (с применением оксидов азота).

**Контактный способ**, известный с 1900 г., применяется для производства концентрированной серной кислоты. Данным методом сейчас вырабатывается порядка 80%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в мире. Он заключается в одностадийном или двухстадийном катализе, в результате чего 99,7%  $\text{SO}_2$  переходит в  $\text{SO}_3$ .

В настоящее время на современных предприятиях применяются ванадиевые катализаторы, вытеснившие платину и оксиды железа. Чистый оксид ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) обладает слабой каталитической активностью, резко возрастающей в присутствии солей щелочных металлов, причем наибольшее влияние оказывают соли калия.

В ходе производства серной кислоты контактным методом диоксид серы, очищенный от контактных ядов (в частности, соединений мышьяка) и от взвешенных частиц, путем промывания в специальных башнях, а затем мокрой и сухой электрофильтрацией, обогащается кислородом и пропускается над катализатором. При этом активный компонент в условиях катализа находится в расплавленном состоянии. Схема окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  может быть представлена следующим образом:



На первой стадии достигается равновесие; вторая стадия протекает медленно и определяет скорость процесса.

Выход  $\text{SO}_3$  в виде белого тумана составляет 99%. В башенном абсорбере  $\text{SO}_3$  реагирует с концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с образованием пирсерной кислоты  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ . Из этого соединения путем контролируемого разбавления водой получают либо чистую (бесцветную 100%-ную) серную кислоту, либо концентрированные водные растворы  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Ванадиевые катализаторы (ВК) применяются в производстве серной кислоты с 1937 г. Количество их на каждом предприятии определяется производительностью, т. е. на 1 т суточного выпуска кислоты необходимо иметь в контактном аппарате 100 кг катализатора, содержащего 10%  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

Разнообразие сырья и усовершенствования технологии производства кислоты и ванадиевых катализаторов обусловили использование различных типов ВК.

*Барий-алюминий-ванадиевый катализатор* (БАВ) соответствует формуле  $nV_2O_5 \cdot 12SiO_2 \cdot 0,5Al_2O_3 \cdot 2K_2O \cdot 3BaO \cdot mKCl$  и содержит: 8%  $V_2O_5$ ; 11%  $K_2O$ ; 35%  $SiO_2$ ; 28%  $BaO$ ; 4%  $Al_2O_3$ ; 5%  $KCl$  и 9% прочих соединений (в массовых долях).

*Сульфованадат-диатомитовая контактная масса* (СВД) содержит: 6-7%  $V_2O_5$ ; 9-10%  $K_2O$ ; 56-62%  $SiO_2$ ; 2-3%  $CaO$ ; не более 5% ( $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ); 18-19% – сульфаты (в пересчете на  $SO_3$ ).

*Сульфованадат на силикагеле* (СВС) содержит: 8%  $V_2O_5$ ; 12%  $K_2O$ ; 55-60%  $SiO_2$ ; менее 3%  $Al_2O_3$ ; 10-15% – сульфаты (в пересчете на  $SO_3$ ).

*Катализаторы ИК-1-6* (разработка "Института катализа им. Борескова") содержат: 9%  $V_2O_5$ ; 30%  $K_2SO_4$ ; 55-60%  $SiO_2$ . Его новейшая модификация – новое поколение высокоэффективных катализаторов ИК-1-6М освоено в ЗАО "Самарский катализаторный завод" в 2003 г.

*Катализатор кипящего слоя* (КС) содержит: 7%  $V_2O_5$ ; 7%  $K_2O$ ; 4-6%  $Al_2O_3$ ; 55-60%  $SiO_2$ ; 16% – сульфаты (в пересчете на  $SO_3$ ). В процессе работы он истирается и уносится в виде пыли.

Срок службы катализаторов составляет 1-2 года на верхних полках контактного аппарата и 4-5 лет – на нижних слоях. Снижение каталитической активности происходит:

- вследствие перехода значительной части ванадия в четырехвалентное состояние;
- изменения пористой структуры носителя при нарушении теплового режима работы катализатора;
- в результате накопления контактных ядов – мышьяка, сульфата железа (II), тумана серной кислоты;
- потери части ванадия в виде летучих соединений, образующихся с некоторыми компонентами газа при некачественной газоочистке.

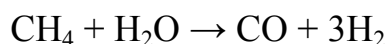
### 1.1.3. Производство аммиака, технического водорода

Паровая конверсия углеводородов – самый экономичный процесс получения водорода. В настоящее время на российских заводах используется паровая конверсия природного газа (метана):

**Производства водорода**, использующие в качестве сырья природный газ, строятся по следующей схеме:

- очистка природного газа от сернистых соединений, которые отравляют никель. На установке по гидродесульфуризации тиолы восстанавливаются до сероводорода и олефинов на алюмокобальтмолибденовом катализаторе при 290-370°C. Затем с помощью оксида цинка удаляется H<sub>2</sub>S.

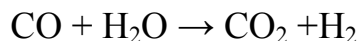
- паровая конверсия метана (ПКМ) – первичный риформинг.



Ход процесса определяют состав катализатора, его активность, удельная поверхность, микроструктура, пористость, механическое сопротивление, термическая и химическая стабильность, сопротивление к углеотложению. Большинство катализаторов ПКМ основано на никеле: кобальт и благородные металлы также активны, но дороги.

Из-за высокой температуры реакции применяются носители с низкой удельной поверхностью (5-10 м<sup>2</sup>/г): Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO и CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Такие поверхности пригодны для сохранения стабильности дисперсного никеля.

- среднетемпературная и низкотемпературная конверсия CO до CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> сначала при 450°C и 3,1 МПа с использованием катализатора на оксидной железохромовой (Fe-Cr) основе, затем при 200-260°C и 3,0 МПа на оксидных медьцинк-алюминиевых (Cu-Zn-Al) катализаторах.



- очистка H<sub>2</sub> от CO<sub>2</sub> адсорбцией раствором моноэтаноламина (МЭА) или горячим раствором K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> при 2,8 МПа.

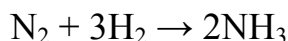
В процессах получения **аммиака**, помимо перечисленных стадий (очистка, паровая конверсия метана и конверсия оксида углерода) проводятся следующие стадии:

- паровоздушная конверсия остаточного метана в шахтном конверторе (вторичный риформинг) при 990-1000°C и 3,3 МПа на Ni-Al катализаторе. На этом этапе водород обогащается азотом воздуха для получения смеси состава **H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> = 3:1**, поступающей на синтез аммиака;

- очистка газа путем гидрирования от остаточных CO и CO<sub>2</sub> в присутствии Ni-Al катализатора при 280°C и 2,6 МПа;

- компримирование очищенной азото-водородной смеси до 30 МПа;

- синтез аммиака на железном промотированном катализаторе при 420-500°C.



Все работающие и строящиеся производства однотипны. Различия состоят в основном в вариациях мощностей технологических параметров, конструктивного оформления оборудования и применяемых конструкционных материалов. В России эксплуатируются установки, разработанные: Государственным институтом азотной промышленности (ГИАП), агрегаты французской фирмы Ensa (мощностью 600 т/сутки), американской компании Kellogg (600-1500 т/сутки), японской компании ТАК, датской компании Haldor Topsoe и др.



### 1.1.4. Дегидрирование углеводов

Дегидрирование – процесс отщепления атомов водорода, применяемый, в частности, в промышленности синтетического каучука для получения мономеров из насыщенных соединений.

Катализаторы дегидрирования ускоряют отщепление водорода от органических соединений. К катализаторам дегидрирования относятся, главным образом, различные твердые вещества, которые по составу можно разделить на несколько групп:

- оксиды щелочно-земельных, переходных элементов и редко-земельные элементы, например Ca, Zn, Ti, Zr, Cr, Mn, Fe, Mo, Th – катализаторы дегидрирования спиртов, парафинов, олефинов, циклоалканов, циклоалкенов, гетероциклических соединений;

- сульфиды, теллуриды, стибиды, арсениды, селениды Mo, Ca, Zn, Cd, Zr, Ga, Pb, Cr, Ni, Mo, Re и др. – катализаторы дегидрирования спиртов и циклоалканов;

- бориды, нитриды, карбиды, силициды, фосфиды V, Zr, Ti, Cr, Mo, W – катализаторы дегидрирования циклоалканов;

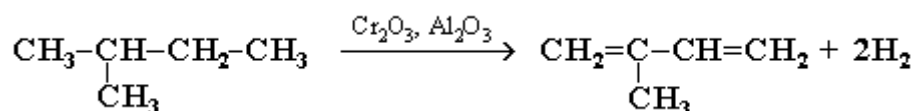
- металлы Ni, Cu, Rh, Ir, Re, Os, Ru, Pd, Pt – катализаторы дегидрирования спиртов, циклоалканов, нафтенов, парафинов, олефинов, гетероциклических соединений.

Катализаторы перечисленных классов в виде индивидуальных соединений используются, в основном, в теоретических исследованиях для установления связи между их физико-химическими и каталитическими свойствами.

При проведении промышленных процессов всегда используют многокомпонентные каталитические системы.

К основным промышленным продуктам, получаемым дегидрированием, относятся: изопрен, бутадиен, стирол, альфаметилстирол. Кроме того, в США и Канаде 60% этилена получают дегидрированием этана на никелевом катализаторе, в России этот способ используется на единственном предприятии (ОАО "Казаньоргсинтез").

Так, для дегидрирования линейных и разветвленных алканов в олефины используют обычно *алюмохромовые, алюмомолибденовые и алюмоплатиновые катализаторы*. Дегидрированием изопентана получают изопрен:



Этот процесс двухстадийный. На первой стадии в кипящем слое алюмохромового катализатора при 530-610°C образуются изоамилены. На второй стадии изоамилены, разбавленные перегретым водяным паром, дегидрируют в стационарном слое хромкальцийникельфосфатного или железооксидного катализатора при 550-560°C.

В частности, в ОАО "Нижнекамскнефтехим" на первой стадии дегидрирования (изопентана в изоамилены) используется микросферический

алюмохромовый катализатор, промотированный оксидом калия. Вторая стадия дегидрирования (изоамиленов в изопрен) проводится на железоксидном катализаторе.

Аналогичным способом на тех же катализаторах получают бутadiен из бутана.

Алюмохромовый катализатор получают пропиткой носителя растворами соединений хрома с последующим формованием гранул и прокаливанием. Такой катализатор работает короткими циклами по 0,2-0,5 ч при 570-590°C; температура регенерации 640-650°C, продолжительность 0,2-0,5 ч.

*Хромкальцийникельфосфатные катализаторы* II стадии получают совместным осаждением фосфатов Ca, Ni и Cr. Процесс на этом катализаторе проводят короткими циклами по 0,25-0,5 ч при 600-650°C и разбавлении сырья водяным паром.

Для дегидрирования бутилена используют *железохромцинковый катализатор*, работающий циклически по 4-12 ч при 580-630°C и разбавлении сырья водяным паром (регенерируют такой катализатор паровоздушной смесью). Железохромцинковый катализатор может быть получен смешением оксидов Fe и Zn (1,9:1) с раствором CrO<sub>3</sub> с последующим восстановлением Cr<sup>6+</sup> до Cr<sup>3+</sup> органическим восстановителем и прокаливанием при 500-550°C.

Алюмохромовые и железохромовые катализаторы используют для дегидрирования алкилбензолов. Основной катализатор дегидрирования этилбензола в стирол – *оксидный железохромкалиевый* с небольшими добавками соединений рубидия, циркония. Процесс проводят при температуре около 600°C при разбавлении сырья водяным паром; выход стирола примерно 63% по массе при селективности процесса около 90%. Такой катализатор может быть получен смешением оксидов Fe и Cr с растворами K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и промотора с последующим формованием гранул и их прокаливанием при 600-650°C.

Для дегидрирования циклоалканов и циклоалкенов применяют обычно *платиновые и палладиевые катализаторы на активированном угле, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub> и специальных керамических носителях*. В некоторых случаях используют также нанесенные никелевые катализаторы.

Дегидрирование алканов с образованием ароматических соединений (дегидроциклизация парафинов) проводят при 500-550°C *на катализаторе, содержащем оксиды Al, Cr и V*.

Дегидрирование нафтенов в циклоолефины осуществляют на оксидном катализаторе при температуре 500-600°C. Катализаторы дегидрирования спиртов – различные соединения меди, например, хромат (III) меди, в некоторых случаях – нанесенные никелевые катализаторы, промотированные оловом.

В настоящее время разрабатывается процесс получения формальдегида дегидрированием метанола, на цинкмедных катализаторах при 600°C. Пока метод не получил широкого развития, однако он является очень перспективным, поскольку позволяет получать безводный формальдегид.

### 1.1.5. Селективное окисление углеводов

Селективное каталитическое окисление, то есть окисление с преимущественным образованием определенного продукта – один из основных способов получения ценных химических соединений из углеводородного сырья.

Селективность, или избирательность, процесса окисления часто является необходимым условием для его реализации в промышленности. Одна из функций катализатора как раз и состоит в увеличении такой избирательности. При отсутствии катализатора окисление углеводов характеризуется широким набором продуктов окисления и достаточно высокими температурами проведения реакции.

Процессы каталитического окисления используются для получения окисей олефинов, альдегидов, кетонов, хинонов и кислот. Основные промышленные реакции: получение формальдегида, фталевого ангидрида, акрилонитрила и окиси этилена.

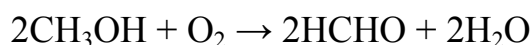
Эпоксидирование – процесс получения окисей олефинов путем присоединения атома кислорода по двойной связи олефина.

В России и за рубежом **окись этилена** производят прямым газофазным окислением этилена воздухом или кислородом в присутствии катализатора. Практически единственным промышленным катализатором является *серебряный катализатор*, применяемый в различных модификациях. Состав катализатора играет большую роль; его непрерывно совершенствуют путем подбора носителей и промотеров. В качестве носителей на ряде российских предприятий используется пемза, а на Дзержинском "Заводе окиси этилена и гликолей" применяется катализатор на пористом корундовом носителе.

Одной из наиболее распространенных технологий производства **фталевого ангидрида** является процесс немецких компаний Wacker-Chemie и Lurgi, называемый процессом фон Хайдена. Исходным продуктом является орто-ксилол, который окисляется кислородом воздуха в трубчатом реакторе; реакторные трубы наполнены *окисным ванадий-титановым катализатором* и охлаждаются циркулирующим соляным расплавом.

Кроме того, фталевый ангидрид получается окислением нафталина коксохимического производства (*катализатор – соли ванадия*).

Основной способ получения **формальдегида** – окисление метанола:



В промышленности процесс осуществляют:

I. в паровой фазе при 680-720°C на *серебряном катализаторе*, конверсия метанола составляет 97-98%. Это хорошо освоенный технологический процесс, и 80% формальдегида получается именно по этому методу.

II. в избытке воздуха на *катализаторе из оксидов железа-молибдена-вольфрама* при 250-400°C. Конверсия метанола 98-99%. По этому способу формальдегид производится компаниями Alder - Luciani и Perstorp Formox (в РФ данная технология реализована только в ОАО "Тольяттиазот").

Существует также промышленный способ получения формальдегида окислением метана:



Процесс проводят при температуре 450°C и давлении 1-2 МПа, в качестве катализатора применяется *фосфат алюминия*  $\text{AlPO}_4$ .

В таблице 4 приведены сравнительные данные параметров традиционной технологии, использующей серебряный катализатор, и более прогрессивной с применением железо-молибденового оксидного катализатора.

**Таблица 4: Сравнительный анализ параметров производства формальдегида окислением метанола на различных катализаторах**

Параметры производства	Серебряный катализатор	Железо-молибденовый катализатор
Исходное сырье	Метанола-водная смесь	Метанол
Срок службы катализатора синтеза	До 6 месяцев	До 3 лет
Температура реакции, °С	650	340
Товарный выход формалина из 1 тонны метанола, т	1,84	2,35
Максимальная концентрация формальдегида в товарном продукте, %	37,0±0,5	До 57
Содержание метанола в товарном продукте, %	4-8	Не более 0,3

*Источник: "ИнфоМайн" на основе данных "Берг-коллегия" №1(2) 2001 г.*

Одностадийный синтез **акрилонитрила** основан на каталитическом окислении пропилена и аммиака. Реакция протекает по следующей схеме:



Синтез акрилонитрила проводится при 450-485°C (давление на выходе из реактора не более 0,2-0,3 МПа) в присутствии различных катализаторов. Для реакции окислительного аммонолиза пропилена запатентовано множество катализаторов. Почти все *промышленные катализаторы относятся к двум основным группам: на основе молибдата висмута и на основе окиси сурьмы*. Максимальной активностью обладают катализаторы с атомным отношением  $\text{Bi}:\text{Mo}$ , близким к 1 (например,  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}2\text{MoO}_3$ ). Введение фосфора (в виде солей поликислот) приводит к стабилизации активности висмутмолибденовых катализаторов при их длительной эксплуатации.

Процесс может протекать 2-4 секунды в стационарном (неподвижном) и 10-20 секунд в подвижном (псевдооживленном) слое катализатора.

### 1.1.6. Гидрирование углеводов

Гидрирование – это процесс превращения органических соединений под действием молекулярного водорода. Реакции гидрирования экзотермичны. Для смещения равновесия вправо необходимо использование невысоких температур, но в этом случае и скорость его достижения будет невелика. Увеличение скорости возможно путем использования гетерогенных катализаторов. Наиболее часто применяемые *катализаторы гидрирования* – это *металлы переменной валентности, их сульфиды и оксиды*.

Основными технологическими процессами с участием водорода (без нефтепереработки) являются: получение капролактама, анилина, получение спиртов и гидрогенизация жиров.

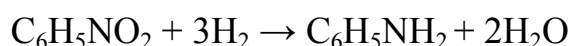
**Капролактама** получают из бензола, фенола или толуола. Наибольшее распространение получил метод синтеза капролактама из бензола. Технологическая схема включает:

- гидрирование бензола в циклогексан в присутствии  $Pt/Al_2O_3$  или *никель-хромового катализатора* при 250-350°C и 130-220°C, соответственно;
- жидкофазное окисление циклогексана в циклогексанол при 140-160°C, 0,9-1,1 МПа в присутствии нафтената или стеарата Со;
- получающийся в результате окисления циклогексанол превращают в циклогексанон путем дегидрирования на цинк-хромовых (360-400°C), цинк-железных (400°C) или медь-магниевого (260-300°C) смешанных катализаторах;
- превращение в оксим проводят действием избытка водного раствора сульфата гидроксилamina в присутствии щелочи или  $NH_3$  при 0-100°C;
- завершающая стадия синтеза капролактама – обработка циклогексаноноксида олеумом или концентрированной  $H_2SO_4$  при 60-120°C (перегруппировка Бекмана). Выход капролактама в расчете на бензол – 66-68%.

Метод синтеза капролактама из фенола включает гидрирование фенола в циклогексанол в газовой фазе над  $Pd/Al_2O_3$  катализатором при 120-140°C, 1-1,5 МПа; дегидрирование полученного продукта в циклогексанон и дальнейшую обработку как в методе синтеза из бензола. Выход капролактама в расчете на фенол – 86-88%.

Получение капролактама из толуола включает следующие стадии: окисление толуола при 165°C в присутствии бензоата Со; гидрирование получающейся бензойной кислоты при 170°C, 1,4-1,5 МПа в присутствии 5% *взвеси Pd на мелкодисперсном угле*; нитрозирование циклогексанкарбоновой кислоты под действием нитрозилгидросульфата при 75-80°C до капролактама-сырца. Выход капролактама – 71% в расчете на исходный продукт.

Основной способ производства **анилина** – каталитическое восстановление нитробензола водородом в газовой (паровой) или жидкой фазе:



В условиях парофазного процесса анилин испаряется, смешивается с избытком водорода и пропускается через контактный аппарат, заполненный

твердым катализатором. Процесс восстановления идет на поверхности катализатора до полного превращения нитросоединения в анилин.

Преимущество метода в том, что катализатор не увлекается реакционными газами. Катализаторами этого процесса являются активные сплавы никеля, алюминия, вольфрама, медь, нанесенная на оксид кремния. Наиболее подходящим катализатором для восстановления нитробензола в анилин является медь, так как ее действие распространяется только на нитрогруппу, не затрагивая ароматического ядра. В присутствии медного катализатора превращение нитробензола в анилин начинается при 230°C, в интервале температур 300-400°C реакция проходит быстро. При избытке водорода выход анилина достигает 98%, причем в получаемом продукте содержатся лишь следы азобензола. Водород может быть заменен водяным газом (смесь CO и H<sub>2</sub>), при этом оксид углерода также играет роль восстановителя, превращаясь в диоксид.

Медь, полученная восстановлением гидроксида меди (II), более активна как катализатор восстановления, чем полученная из нитрата меди (II). Медь, нанесенная на асбест, более активна, чем нанесенная на пемзу или приготовленная без носителя. Однако медь, нанесенная на асбест, скорее теряет активность.

В промышленности катализатором служит карбонат меди, нанесенный в виде суспензии в растворе силиката натрия на пемзу с восстановленным водородом. Катализатор хорошо работает около года, но за этот период дважды подвергается регенерации. *Расход меди – 1 кг на 1000 кг анилина.*

Хорошие результаты дает никелевый катализатор, комбинированный с оксидом ванадия. Восстановление на этом катализаторе проводится в интервале температур 240-300°C и дает выход анилина до 99%.

Каталитическое восстановление водородом нитрогруппы (NO<sub>2</sub>) в аминогруппу (NH<sub>2</sub>) **в жидкой фазе** имеет не меньшее значение, чем парофазное восстановление. Так как один из ингредиентов реакции (водород) газообразен, то для увеличения его концентрации в системе процесс ведут под давлением водорода в автоклавах. В условиях периодического жидкофазного процесса нитробензол, смешанный с твердым катализатором, обрабатывают под давлением водородом до прекращения поглощения последнего. После отстаивания образовавшегося анилина от катализатора его сифонируют и очищают. Через несколько циклов катализатор отфильтровывают и регенерируют. Гидрирование проводят при энергичном перемешивании реакционной массы для равномерного распределения катализатора по всему объему.

*Катализаторами жидкофазного гидрирования в промышленности являются металлический никель, в лабораторной практике – также платина и палладий.* Никелевые катализаторы получают восстановлением водородом оксидов никеля, образующихся при прокаливании нитрата, карбоната или оксалата Ni. Активный и стойкий никелевый катализатор может быть получен нагреванием формиата никеля в смеси парафина и парафинового масла до 250°C с последующей промывкой спиртом и петролейным эфиром.

Очень широкое применение как катализатор гидрирования получил скелетный никелевый катализатор, так называемый никель Ренея. Его получают, обрабатывая никелево-алюминиевый сплав едкой щелочью при нагревании до полного выщелачивания алюминия. Остающийся при этом мелко раздробленный никель обладает очень большой поверхностью и весьма активен. Катализатор сохраняют под водой или под спиртом – сухой катализатор пирофорен. Применение скелетного никелевого катализатора позволяет получать из нитросоединений амины при атмосферном давлении и комнатной температуре.

Гидрированием альдегидов на *цинк-хромовом, никель-хромовом, кобальтсодержащем катализаторах* получают **спирты**.

На первой стадии получения спиртов (в реакции оксосинтеза) образуются альдегиды нормального и изостроения. Так из пропилена образуются *n*-масляный и изомасляный альдегиды, после гидрирования из них получают *n*-бутиловый и изобутиловый спирты. Соотношение продуктов нормального и изостроения колеблется от 1,5:1 до 3,5:1. Соотношение это можно повысить путем изменения условий реакции и модификации катализаторов.

Наибольшим спросом в промышленности пользуется нормальный бутанол (*n*-бутанол), применяемый в производстве пластификаторов, в лесохимической и лакокрасочной промышленности. Более ограниченное применение в России имеет изобутанол, основным потребителем которого является лакокрасочная промышленность, кроме того, он используется в качестве присадки к маслам.

В России бутанола производят на 4 предприятиях: "Сибур-Химпром", "Ангарская НХК", "Салаватнефтеоргсинтез" и "Невинномысский азот".

Технические аспекты выпуска бутиловых спиртов на российских предприятиях отличаются. На АНХК на первой стадии гидроформилирования пропилена образуется смесь нормального и изомасляного альдегидов, которые на следующей стадии в присутствии катализаторов восстанавливаются водородом до получения *n*-бутилового и изобутилового спиртов.

В ОАО "Салаватнефтеоргсинтез" и ЗАО "Сибур-Химпром" полученную на первой стадии смесь альдегидов разделяют, а затем часть выделенного нормального масляного альдегида направляют на производство 2-этилгексанола.

Растущая потребность в твердых жирах большей частью удовлетворяется за счет **гидрогенизации жидких жиров** (получение саломаса).

В качестве катализатора для ускорения процесса насыщения в промышленности применяют *никелевые и медно-никелевые соли в виде высокодисперсных порошков*, увеличивающих поверхность соприкосновения жира с водородом. Процесс насыщения жира водородом происходит при температуре 190-220°C.

Характер реакции присоединения водорода в присутствии катализаторов обуславливает ее обратимость, т. е. наряду с процессом гидрогенизации может возникнуть обратный процесс – дегидрогенизация.

Реакция присоединения водорода протекает в гетерогенной среде, где реагирующие вещества находятся в трех агрегатных состояниях (жидкое – масло, твердое – катализатор и газообразное – водород). Насыщение идет в местах одновременного столкновения этих трех веществ. Реакция может идти в обратную сторону, если в местах контакта жира и катализатора не будет водорода. При таких условиях возникает дегидрогенизация.



### 1.1.7. Очистка газовых выбросов

Газы в промышленности обычно загрязнены вредными примесями, поэтому очистка широко применяется на заводах и предприятиях для технологических и санитарных (экологических) целей. Промышленные способы очистки газовых выбросов от газо- и парообразных токсичных примесей можно разделить на три основные группы:

- абсорбция жидкостями;
- адсорбция твердыми поглотителями;
- каталитическая очистка.

**Каталитическая очистка газов** связана с химическим превращением токсичных компонентов в нетоксичные в присутствии катализаторов. Используется для очистки от: летучих органических соединений, оксидов азота, серосодержащих соединений, углерода, аммиака, озона.

Известные катализаторы очистки можно разделить на три основные группы:

- катализаторы, содержащие благородные металлы;
- катализаторы, состоящие из оксидов переходных металлов;
- смешанные катализаторы, включающие оксиды *d*-элементов и металлы платиновой группы.

Примерами промышленных платиновых и палладиевых катализаторов, нанесенных на пористые подложки ( $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , силикагель, алюмосиликат, керамика, корунд), могут служить катализаторы, содержащие 0,5-0,6% (масс.) Pt и содержащие 1,4-2,0% (масс.) Pd. Им присуща высокая активность. Однако дороговизна, возрастающая дефицитность благородных металлов делает проблематичным широкомасштабное применение их в газоочистке. Среди оксидных катализаторов, как наиболее дешевых, хорошо зарекомендовали себя оксиды Mn, Co, Cu, Zn. Активность оксидных катализаторов можно повысить введением в них небольших количеств благородных металлов.

**Оксид азота** восстанавливается газом – восстановителем (CO,  $\text{CH}_4$ ) в присутствии катализаторов. В качестве катализаторов используют различные металлы, которыми покрывают носители (огнеупорные материалы). Часто применяют *палладиевый катализатор, нанесенный на оксид алюминия*. Температура реакции: 400-470°C.

Процесс гидрирования **оксида углерода** на *никелевых и железных катализаторах* проводят при высоких давлениях и повышенных температурах:

Очистка от **диоксида серы** основана на принципе окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  контактным методом в присутствии *катализатора*  $\text{V}_2\text{O}_5$  при 450-480°C.

На большинстве металлургических предприятий России сернистые газы утилизируются в виде серной кислоты, однако на одном из них – Заполярном филиале ОАО "ГМК "Норильский никель" (Норильск) – из отходящих газов металлургического производства выпускается элементарная сера. Кроме того, используют метод очистки с получением сульфата аммония, который можно использовать как удобрение.  $\text{SO}_2$  окисляют до  $\text{SO}_3$ . Затем при температуре 220-260°C вводят газообразный аммиак. Полученные кристаллы сульфата аммония отделяют в циклонах и электрофильтрах.

При каталитической очистке газов от **органических веществ** в качестве катализаторов используют Cu, Cr, Co, Mn, Ni, в отдельных случаях – бокситы, цеолиты. Катализаторы условно делятся на:

- цельнометаллические (металлы платиновой группы или неблагородные металлы, нанесенные на ленты, сетки, спирали из нержавеющей стали);
- смешанные (металлы платиновой группы или оксиды неблагородных металлов, нанесенные на оксид алюминия, нержавеющую сталь);
- керамические (металлы платиновой группы или оксиды неблагородных металлов, нанесенные на керамическую основу в виде сот или решеток);
- насыпные (гранулы или таблетки из оксида алюминия с нанесенными на него металлами платиновой группы или оксидами неблагородных металлов, зерна оксидов неблагородных металлов).

Преимуществом обладают катализаторы, нанесенные на металлические носители. Они более термостабильны, прочны, легко регенерируются.

В качестве катализаторов процессов гидрирования **сероорганических соединений водородом** используют *контактные массы на основе оксидов Fe, Co, Ni, Cu, Zn*. При гидрировании водяным паром используют *катализаторы, содержащие в качестве компонента оксид железа*.

В таблице 5 представлены основные типы каталитических систем для газоочистки.

**Таблица 5: Основные типы каталитических систем для газоочистки**

Алюмомарганцевый оксидный катализатор	Высокотемпературный катализатор для очистки промышленных газовых выбросов от органических соединений и оксида углерода, а также для каталитического сжигания метана и других топлив
Алюмомеднохромовый катализатор	Среднетемпературный катализатор для очистки промышленных газовых выбросов от органических соединений и оксида углерода
Алюмомеднооксидный катализатор	Низкотемпературный катализатор очистки газов от примесей формальдегида, метанола и оксида углерода
Алюмокобальтхромовый катализатор	Очистка промышленных газовых выбросов от органических соединений, водорода и оксида углерода
Алюмопалладиевый катализатор	Очистка газовых выбросов от примесей органических соединений и оксида углерода
Алюмованадиевый катализатор	Селективное восстановление оксидов азота аммиаком в отходящих газах производства азотной кислоты на агрегатах УКЛ
Меднооксидный катализатор разложения озона	Очистка промышленных газовых выбросов от озона и озон-каталитическая очистка от летучих органических соединений Применяется в установках "коронного разряда"
Алюможелезованадиевый катализатор	Каталитический дожиг хвостовых продуктов процесса Клауса

*Источник: данные ОАО "Катализатор"*

### 1.1.8. Нейтрализация автомобильных выхлопов

Изменение требований к транспортным средствам, совершенствование технического регулирования экологической безопасности в РФ привело к разработке специального регламента на автомобильные выбросы. Тем самым Россия не только ввела в действие технические нормативы по выбросам автотранспорта, но и в значительной мере стимулировала внутренний рынок к производству средств, обеспечивающих выполнение указанных нормативов.

**Автокатализатор** (или же катализатор дожигания твердых и жидких топлив) в общем случае представляет собой сотовую (блочную) конструкцию с нанесенным слоем платинового или палладиевого сплава, увеличивающую площадь контакта выхлопных газов с рабочей поверхностью. Недогоревшие остатки CO, CH, NO, касаясь поверхности каталитического слоя, окончательно окисляются кислородом, присутствующим в выхлопных газах. В результате протекающей реакции выделяется тепло, разогревающее катализатор, вследствие чего реакция окисления активизируется.

Процесс производства автокатализаторов, называемых также нейтрализаторами выхлопных газов, включает два основных этапа, на первом из которых осуществляется выпуск непосредственно катализатора на металлическом или керамическом носителе, а на втором – его упаковка в металлический корпус – кэннинг (canning). Ключевой операцией технологии считается первый этап – производство катализаторов, в то время как кэннинг не представляет серьезных технологических проблем и может быть выполнен на большинстве машиностроительных предприятий, имеющих штамповочное и сварочное оборудование.

Говоря о содержании различных металлов платиновой группы в автокатализаторах разных типов, важно подчеркнуть, что традиционно автомобили с дизельным приводом, к которым относится большая часть грузовиков и автобусов в мире, оснащаются нейтрализаторами с платиновыми катализаторами. Такие катализаторы обладают достаточно высокой эффективностью в реакциях обезвреживания углеводородов (в том числе входящих в состав дисперсных частиц) и CO, однако их недостатком является высокая активность в реакциях окисления серы с образованием SO<sub>3</sub>.

Палладиевые автокатализаторы характеризуются меньшей эффективностью по сравнению с платиновыми аналогами в реакциях окисления продуктов неполного сгорания, однако им свойственна и меньшая активность в реакции окисления диоксида серы до серного ангидрида. В связи с этим при соответствующей доработке палладиевые или комбинированные платино-палладиевые катализаторы могут заменить традиционно применяемые платиновые катализаторы в дизельных нейтрализаторах.

Нейтрализаторы для бензиновых двигателей базируются на системе платина-палладий-родий, причем количество родия в общей загрузке металлов платиновой группы по мере совершенствования конструкции двигателей понижается с 17-20% до 9-11%.

Работы по частичной или полной замене платины на палладий ведутся достаточно долгое время – более 30 лет. При этом проблем в технологическом аспекте не возникает, однако при отработке окончательного рецепта катализатора необходимо тщательно учитывать требования к нейтрализатору,

зависящие основном от типа и качества двигателя, состава отработавших газов, действующих экологических стандартов, топлива, ресурса и т.д.

При выборе каталитического состава, как правило, универсальных решений не существует, и применительно к конкретному автотранспортному средству необходимо проводить достаточно большой объем доводочных работ в обоснование выбранного нейтрализатора.