

# Промышленный анализ – Важнейший момент в производстве полиолефинов

## Решение от **SIEMENS**

В зависимости от того, какой продукт хотят получить, в **производстве полиолефинов** используются различные технологические процессы, однако, в независимости от этого требуется **поточное аналитическое оборудование**, предназначенное для сбора достоверной информации для управления технологическим процессом, контроля качества продукции и обеспечения безопасности. Сименс, являясь безусловным лидером в промышленном анализе, за десятилетия работы доказал

свою способность в планировании, технической проработке, внедрении и сервисном обслуживании аналитических систем на заводах по производству полиолефинов во всем мире.

В этой брошюре производится обзор типичных технологических процессов и описывается, каким образом Сименс обеспечивает наилучшее соблюдение технологических требований при использовании наших анализаторов и нашего опыта.

### Полиолефины

Термином *полиолефины* обычно называют семейство полимеров, полученных из основных химических веществ, известных как олефины. В группу полиолефинов входят **полиэтилен (ПЭ)** и **полипропилен (ПП)**.

Полиолефины получают при соединении маленьких молекул (мономеров) в одну большую форму цепи (полимер), имеющую форму цепи. Длина цепи может достигать тысяч звеньев и определяется типом применяемого катализатора. Мономеры этилен и пропилен при комнатной температуре являются газами, но, соединяясь в полимер, они образуют прочный гибкий материал с широкими возможностями применения. Процесс объединения молекул называется **полимеризацией**. Существуют несколько технологий промышленного производства полиолефинов, каждая из которых обеспечивает получение продукта с уникальными характеристиками.

Во всем мире наблюдается непрерывно растущие потребности в полиолефинах потому что:

- Полиолефины значительно дешевле других полимеров или натуральных материалов;
- Полиолефины чрезвычайно многообразны – они могут быть очень твердые или гибкие, прозрачные как стекло или абсолютно непрозрачные, иметь высокую температурную устойчивость или плавиться в руках.

# Технологии производства полиолефинов

## Полиолефины

Образуются в ходе реакции полимеризации с образованием многомолекулярной цепи из мономеров этилена или пропилена. Обычно реакция протекает в присутствии катализатора, тип и природа которого оказывают значительное влияние на ее ход. Поскольку в последнее время эффективность катализаторов значительно возросла, продукты из полиэтилена и полипропилена стали более чистыми и универсальными, а процесс их изготовления намного проще.

## Полиэтилен (ПЭ)

Это группа продуктов, получаемых в ходе реакции полимеризации этилена. Реакция полимеризации может быть радикальной или каталитической. Молекулы ПЭ содержат многочисленные разветвления в цепи, образующиеся спонтанно в случае радикальной полимеризации, либо принудительно соединяют этилен с  $\alpha$ -олефинами при каталитической.

ПЭ смола классифицируется в соответствии с ее плотностью, которая зависит от разветвленности цепи.

- **HDPE**

Полиэтилен высокой плотности практически не имеет разветвлений и поэтому обладает наиболее сильными межмолекулярными связями. HDPE – белое непрозрачное вещество.

- **MDPE**

Полиэтилен средней плотности имеет высокую устойчивость к воздействию химических веществ

- **LDPE**

Полиэтилен низкой плотности имеет разветвления произвольного размера. Он образуется при полимеризации под высоким давлением. LDPE – прозрачный и твердый.

- **LLDPE**

Линейный полиэтилен низкой плотности – это полиэтилен с фиксированным количеством линейных разветвлений, получаемый преимущественно сополимеризацией этилена с разветвленными олефинами. LLDPE – прозрачное и твердое вещество.

## Полипропилен (ПП)

Полипропилен – это жесткая, твердая пластмасса, выпускаемая с различной молекулярной массой и различной формой кристаллов. Существуют три основных типа ПП:

- **Гомополимеры** – имеют высокие температуры плавления и хорошую жесткость, что делает их пригодным к использованию во многих областях

- **Сополимеры** – производятся из различных мономеров, являются очень пластичными материалами, находящими широкое применение в автомобильной промышленности.

- **Произвольные сополимеры** –

получаются при добавлении этиленовых звеньев в полипропиленовую цепь, обладают улучшенными оптическими свойствами, например прозрачностью.

## Технологические процессы

В производстве ПЭ и ПП существуют множество технологических процессов, имеющих некоторые общие особенности. Однако, непрерывное развитие технологий ведет к тому, что при производстве различных типов полимеров и на разных заводах отличия могут существовать. Поэтому все описания, приведенные ниже, являются достаточно условными и схематичными.

## Общие процессы полимеризации

Во всех технологических процессах полимеризации олефинов присутствуют общие моменты, показанные на рис. 1.

- Сырье и вспомогательные материалы должны быть очищены до необходимой степени, а катализатор подготовлен. Дополнительно, если процесс проводится при высоком давлении, газовая смесь должна быть сжата до необходимой степени.
- Полимеризация может проводиться в **газовой** (псевдо-жидкий слой или реактор с перемешиванием), **жидкой фазе** или под **высоким давлением**. Процесс полимеризации – это главное в производстве полимеров. На каждой установке может использоваться только один из перечисленных типов. Подробности будут приведены на следующих страницах.
- Отделение частиц полученных полимеров от непрореагировавших мономеров, растворителя, очистка, осушка.
- Возвращение мономеров и растворителя обратно в процесс.

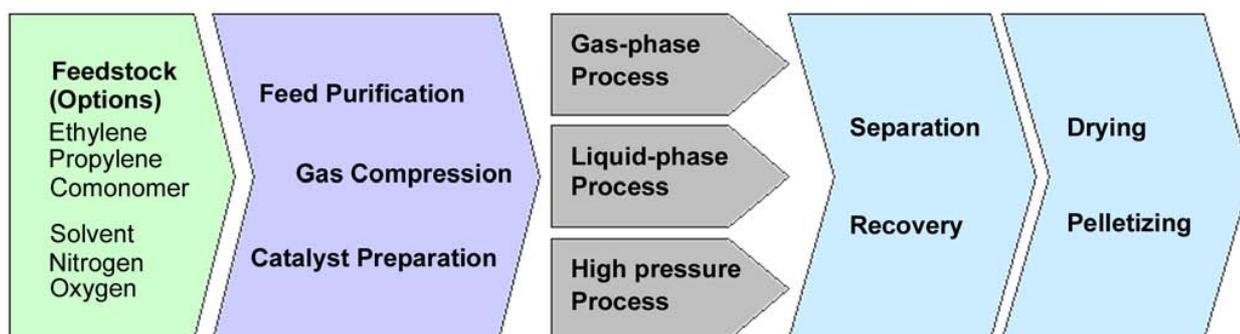


Рис. 1: Общая схема процесса получения олефинов

# Полимеризация в газовой фазе

## Газофазная полимеризация

При газофазной полимеризации, этилен или пропилен контактируют с твердым мелкодисперсным катализатором, распределенным в полимерном материале. Существуют два способа проведения этой реакции:

- В ходе *псевдо-жидкого процесса* мономеры протекают в реакторе с высокой скоростью снизу вверх через распределительные тарелки, что обеспечивает интенсивный теплоотвод и образование псевдожидкого слоя. Непрореагировавшие мономеры отделяются от частиц полимера в верхней части колонны и возвращаются в реактор. Этот процесс используют для получения LLDPE или HDPE. При модификации технологии может быть добавлен второй реактор для проведения сополимеризации.
- При получении полимера *процессом смешения* используются вертикальный или горизонтальный реактор с отсеками, в которых происходит непрерывное перемешивание частиц полимера.

Газофазная полимеризация является очень экономичной и гибкой технологией, допускающей использование самых разных типов катализаторов. Безусловно, это самый распространенный процесс на современных заводах по производству полимеров. См. рис 3.

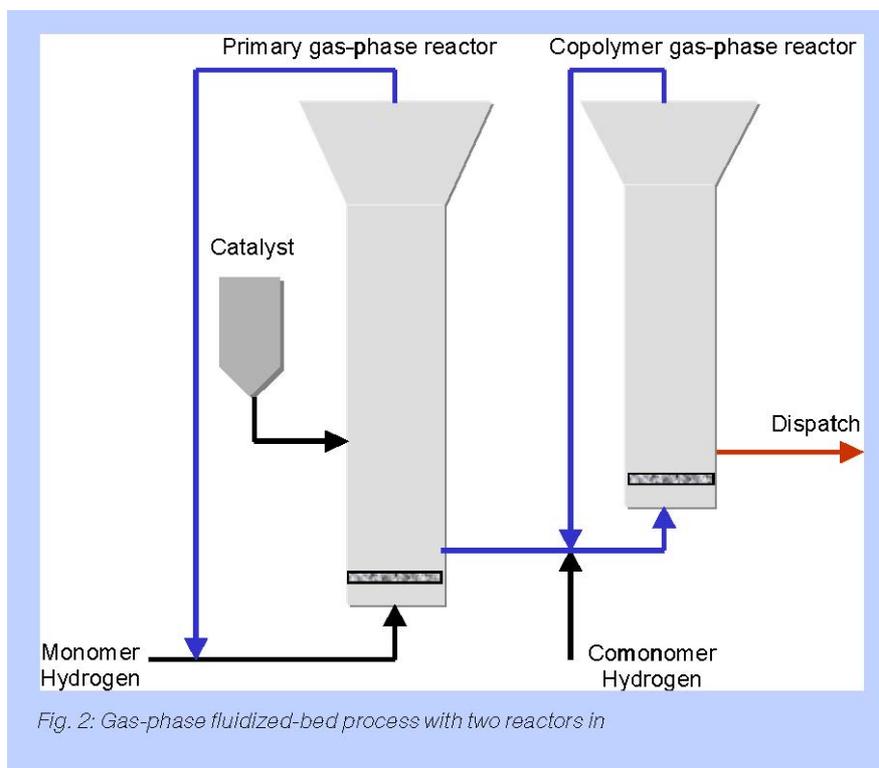


Fig. 2: Gas-phase fluidized-bed process with two reactors in

Газофазные процессы	
Lupotech G®	Получение HDPE, MDPE и LLDPE в псевдоожигенном слое
Unipol® PE	Получение HDPE и LLDPE в псевдоожигенном слое
Unipol® PP	Получение полипропилена в псевдоожигенном слое, с одним или двумя реакторами.
Novolen®	Получение полипропилена в двух последовательных реакторах процессом перемешивания

Рис. 3: Газофазные процессы (варианты)

# Полимеризация в жидкой фазе или под высоким давлением

## Жидкофазная полимеризация

В жидкофазном (паста или суспензия) процессе катализатор и частицы полимера находятся в инертном растворителе, обычно в легких или тяжелых углеводородах.

При суперкритической полимеризации в пастах растворителем обычно является пропан.

Реакция в пастах обычно проходит в петлевом реакторе, в котором непрерывно циркулирует растворитель. В этих процессах могут использоваться различные типы катализаторов. Заключительной стадией всех процессов полимеризации в жидкости является удаление растворителя.

Суперкритическая полимеризация в пасте, проходящая в замкнутой петле обеспечивает ряд преимуществ (например, увеличенный выход, улучшенное качество продукта) по сравнению со стандартным процессом.

В некоторых технологических схемах возможно комбинирование петлевого реактора с одним или двумя газофазными реакторами, размещенными последовательно. (Рис. 6). Для бимоальных полимеров, низкомолекулярный продукт образуется в петлевом реакторе, а высокомолекулярные в газофазном. Некоторые общие технологии показаны на рис. 4.

## Полимеризация под высоким давлением

Для проведения реакции используются автоклавы или трубчатые реакторы (давление превышает 3000 бар), но все технологические стадии такие же как и в предыдущих случаях и включают в себя сжатие, полимеризацию, осушку и гранулирование продукта. Свежий этилен поступает в реактор и смешивается с рецикловым газом низкого давления. После этого смесь сжимается и направляется в реактор для проведения полимеризации.

Кислород или пероксиды могут использоваться для инициализации реакции.

Трубчатый реактор (Рис. 7) состоит из нескольких сот метров трубок соединенных между собой гибкими трубками.

По этой технологии получают LLDPE гомополимеры и сополимеры из LDPE с добавлением винилацетатного фрагмента. Некоторые процессы перечислены на рис. 5.

Жидкофазные процессы	
Hostalen®	Получение HDPE в пастах при низком рабочем давлении
Borstar® PE	Суперкритическая полимеризация в пасте, комбинация петлевого реактора с газофазным
Borstar® PP	Суперкритическая полимеризация в пасте, комбинация петлевого реактора с двумя газофазными реакторами
Spheripol®	Полимеризация в пасте для получения гомополимеров ПП и произвольных сополимеров
Phillips	Получение HDPE в пастах

Рис. 4: Жидкофазные процессы (варианты)

Процессы при высоком давлении	
Lupotech T®	Получение широкого диапазона LDPE
ExxonMobil	Получение LDPE
Equistar	Получение LDPE трубчатых реакторах и автоклавах.

Рис. 5: Процессы под высоким давлением (варианты)

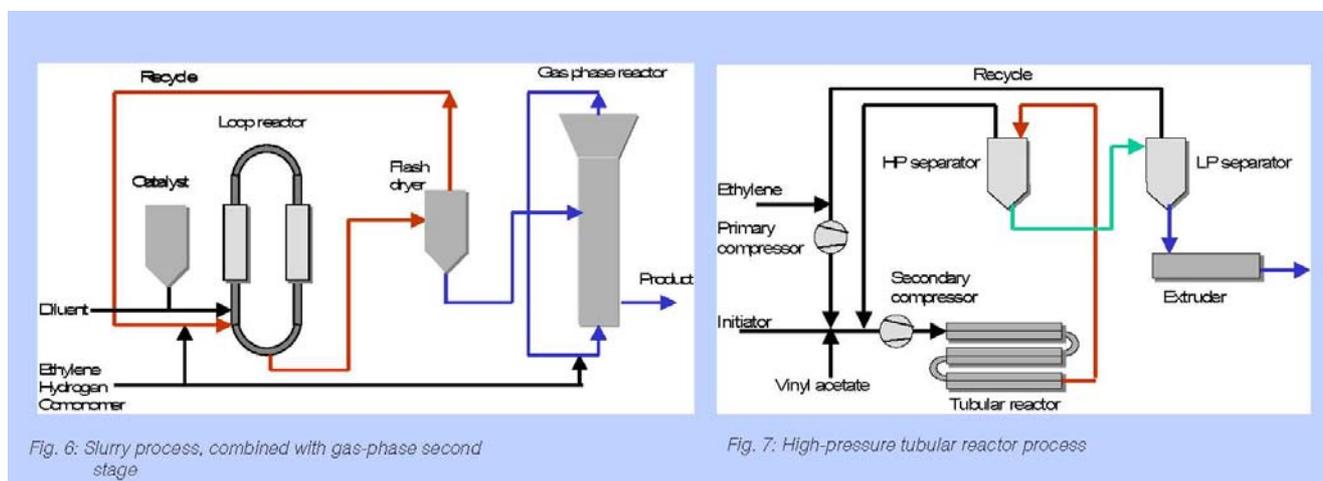


Fig. 6: Slurry process, combined with gas-phase second stage

Fig. 7: High-pressure tubular reactor process

# Применение промышленных анализаторов на заводах полимеризации олефинов

## Аналитические задачи

Промышленные анализаторы являются неотъемлемой частью любого завода по производству полиолефинов, потому что обеспечивают управление и контролирование ключевой информации о протекании процесса.

### Четыре важнейших применения

Анализаторы можно разделить на три группы, в зависимости от того как используется получаемые данные:

- Оптимизация процесса в контуре закрытой петли**  
 Это применение помогает увеличить выход продукта, снизить энергопотребление и поддерживать качество продукции на требуемом уровне.
- Контроль качества и документирование**  
 в соответствии со стандартом
- Контроль аварийных параметров**  
 Это применение защищает персонал и завод от возможных выбросов токсичных или взрывоопасных смесей
- Контроль выбросов**  
 Это применение помогает сохранить выбросы в окружающую среду на уровне местных законодательных требований

## Анализаторы и точки пробоотбора

На производствах используются различные типы анализаторов – от простых сенсоров до высокотехнологичных промышленных газовых хроматографов.

Обычно это

- Промышленные газовые хроматографы
- Газовые анализаторы (парамагнитные анализаторы кислорода, ИК-фотометры, анализаторы общего содержания углеводов)
- анализаторы влажности и следов кислорода
- датчики нижнего предела взрываемости

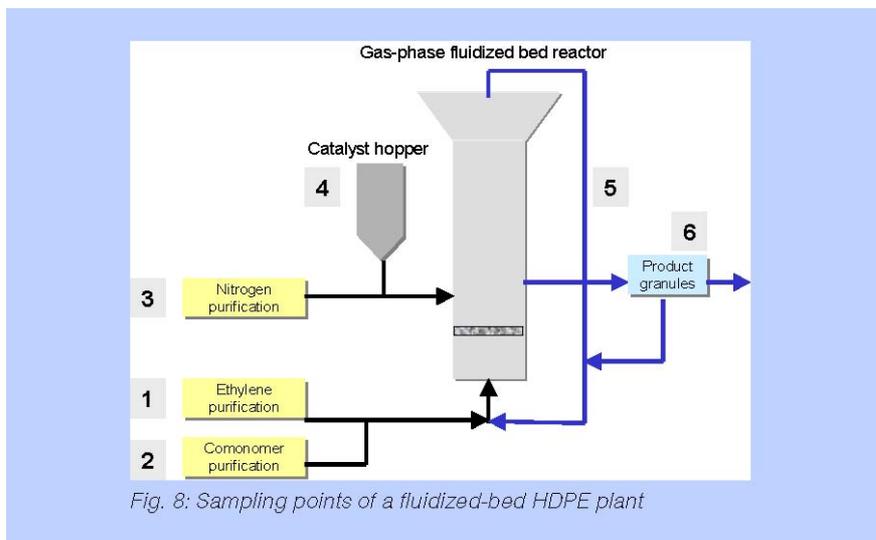


Fig. 8: Sampling points of a fluidized-bed HDPE plant

### Место установки анализаторов

Обычно, анализаторы устанавливаются в поле в специальных боксах и/или в аналитических домиках (шкафах). На современных заводах большинство анализаторов подключается непосредственно к заводским информационным сетям, что позволяет вести обмен данными между ними и PCY.

Общее количество анализаторов, установленных на заводе, варьируется в зависимости от типа процесса, индивидуальных заводских условий и пожеланий заказчика.

### Типовой пример точек пробоотбора, анализаторов и измеряемых параметров

приведен на Рис. 8 и 9. Это процесс производства HDPE газофазным методом на тарелках с псевдоожиженным слоем:

- Подача мономера, сомономера. Катализатора и вспомогательных компонентов в реактор (1-4)
- Линия рециклового газа (5)
- Линия готового продукта или подача полупродукта во второй реактор (6)
- контроль различных параметров безопасности (не показан на рис. 8)

Точка отбора	Компонент	Диапазон (ppm)	Точка отбора	Компонент	Диапазон (%)		
1	Очистка этилена	CO	0 – 2	5	Рецикловый газ	Азот	0 – 100
		CO2	0 – 2			Водород	0 – 50
		Метанол	0 – 10			CO	0 – 10/200 ppm
		Ацетилен	0 – 5			Метан	0 – 10
		Сера	0 – 2			Этан	0 – 20
		Этан	0 – 400			Этилен	0 – 100
		Вода	0 – 5			н-Бутан	0 – 5
2	Очистка комономера	Кислород	0 – 2			i-Бутан	0 – 5
		Вода	0 – 100			1-Бутен	0 – 25
3	Очистка азота	Вода	0 – 100			Транс-2-бутен	0 – 1
		Кислород	0 – 10			i-Бутен	0 – 5
4	Катализатор	Кислород	0 – 10 %			Цис-2-Бутен	0 – 2
		Вода	0 – 5			Гексан	0 – 10
6	Продукт	Вода	0 – 5			1-Гексен	0 – 20
				С6 и инерты	0 – 10		

Рис. 9: Пример измеряемых компонентов и диапазонов измерения по рис. 8

# Промышленные анализаторы Siemens AG

## Siemens Process Analytics

Siemens является мировым лидером в производстве промышленного оборудования и оказании услуг по его внедрению, компания имеет три центра компетенции – в США, Германии и Сингапуре.

Помимо широкого выбора анализаторов разных типов (см. рис. 10), Siemens поставляет комплексные аналитические системы, включая инжиниринг, изготовление, ввод в эксплуатацию и полное техническое сопровождение на всех стадиях. Компания Siemens имеет возможность разрабатывать и поставлять комплексные решения, соответствующие индивидуальным особенностям производства, для обеспечения наибольшей эффективности технологического процесса. Частью такой системы может быть оборудование, производимое другими компаниями, но с гарантийными обязательствами компании Siemens, как поставщика. Поэтому, заказчик всегда имеет только с одной компанией на всех стадиях прохождения проекта – от первоначальной идеи до запуска.

На всех типах заводов по производству полиолефинов, промышленные хроматографы являются важнейшим инструментом контроля, затем следуют газоанализаторы и сигнализаторы взрывоопасных концентраций.

## Промышленный хроматограф Maxum II

Maxum II является новейшей разработкой в области промышленной хроматографии с беспрецедентными техническими решениями, позволяющими получать любые аналитические результаты с минимальными операционными затратами. Преимущества включают:

- Возможность использования нескольких термостатов, детекторов, кранов и т.п.
- Параллельная хроматография
- Бесклапанное переключение потоков
- Графический интерфейс
- Универсальные сетевые возможности
- Современное ПО

Siemens Process Analytics	
<b>Промышленные газовые хроматографы</b>	- Maxum II Лидер по показателям производительности, гибкости и надежности - MicroSAM новый мощный и компактный хроматограф, устанавливаемый в точке отбора
<b>Поточные газоанализаторы</b>	- Анализаторы 6-й серии - Ultramat, Calomat, Oxumat и Fidamat - Ultramat 23 – экономичный многокомпонентный анализатор - LDS 6 – диодно-лазерный анализатор in-situ
<b>Комплексные решения</b>	- Полная проработка технической задачи от планирования до запуска и сервисного обеспечения - Заводы в Германии, США, Сингапуре и Москве.

Рис. 9: Обзор приборов

## MicroSAM

MicroSAM – это новейший промышленный хроматограф, сочетающий в себе небольшие размеры с мощными технологиями, комплексные возможности с простой управления. Основные особенности хроматографа

- небольшие размеры, низкое энергопотребление, возможность установки непосредственно в точке отбора пробы
- анализатор поставляется готовым к эксплуатации
- модульная конструкция
- малое время аналитического цикла



Рис. 10: MicroSAM

## Газоанализаторы 6-й серии

В газоанализаторах используются различные измерительные технологии в зависимости от задачи. Кроме анализаторов, работающих со специальными системами пробоподготовки (Ultramat, Calomat, Oxumat и Fidamat) с 2004 года предлагается лазерный анализатор in-situ LDS 6. Эти анализаторы хорошо зарекомендовали себя в промышленности своей надежностью, воспроизводимостью и точностью измерений. Для каждого применения можно подобрать оптимальное решение – панельное или полевое исполнение корпуса, взрывозащита, несколько вариантов сетевых протоколов обмена данными.

Для всех анализаторов 6-й серии возможно использование Ethernet с сетевым протоколом TCP/IP



Рис. 11: Газоанализатор 6-й серии в полевом корпусе

# Решение от Siemens Process Analytics

## Промышленная газовая хроматография

Siemens предлагает решения для любой технической задачи: **MicroSAM** разработан для стандартных задач и обеспечивает очень быстрое и экономичное решение, особенно если анализатор должен быть выполнен в полевом корпусе и смонтирован рядом с точкой отбора пробы. Для комплексных задач идеально подходит хроматограф **Maxim II**, обладающий уникальными возможностями, описанными ниже.



Рис. 13: Хроматограф Maxim II

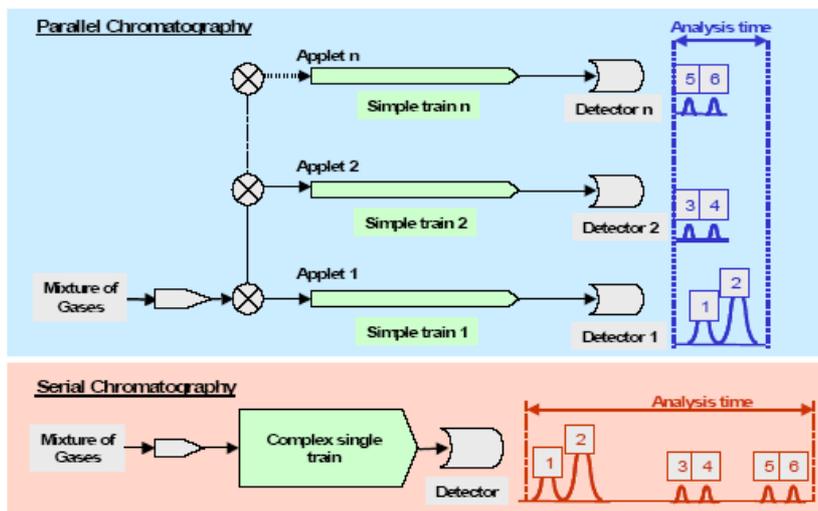


Рис. 14: Принцип последовательной (снизу) и параллельной (сверху) хроматографии

## Параллельная хроматография

В хроматографе Maxim II реализована новейшая разработка, известная как *параллельная хроматография*. Аппаратное и программное обеспечение хроматографа позволяет разделить комплексный одиночный аналитический тракт на несколько простых одиночных трактов (рис. 14). Каждый из этих простых трактов, называемых *Апплет*, работает параллельно, что значительно снижает общее время анализа, по сравнению с традиционной последовательной. Это очень важный момент для контроля процессов, в которых требуется короткое время отклика.

Все апплеты могут выполняться как стандартными, для общих применений, так и конфигурироваться в рамках параллельных групп, в зависимости от текущей аналитической задачи. (Рис. 15)

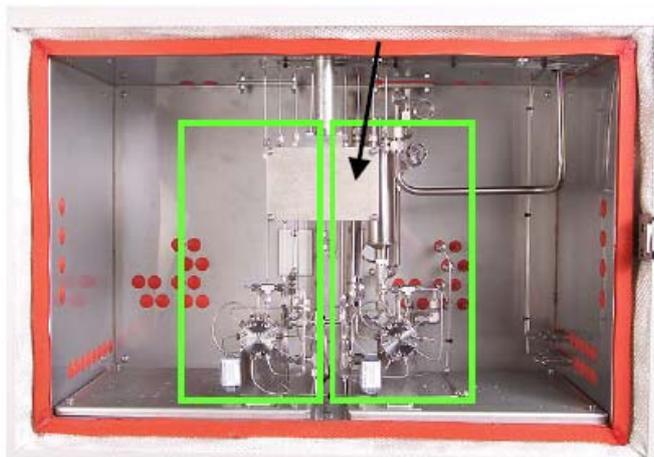


Рис. 15: Maxim II – двойной термостат с двумя апплетами

## Решение от Siemens Process Analytics (продолжение)

### Махит – двойной термостат и параллельная хроматография

Параллельная хроматография в сочетании с концепцией двойного термостата дает неограниченные возможности для решения комплексных аналитических задач (см. рис. 16):

Одновременный анализ 22 различных компонентов в двух различных потоках (рецикловый газ и этилен с очистки) всего на двух хроматографах с двумя термостатами. Для этого используются 9 апплетов 5 различных типов (от А до Е), каждый из которых состоит из инжектора, колонок и детектора.

Преимущества весьма очевидны:

- Лучшее аналитическое решение
- Минимальные инвестиции и операционные расходы
- минимальное время аналитического цикла

Аппл.	Компонент	Диапазон (%)	Рецикловый газ		Этилен с очистки	
			Хроматограф 1		Хроматограф 2	
			Тер. 1	Тер. 2	Тер. 1	Тер. 2
Тип А	H <sub>2</sub>	0 – 50	X			
	CO	0 – 2 ppm				X
	CO <sub>2</sub>	0 – 2 ppm				X
Тип В	N <sub>2</sub>	0 – 100	X			
	Метан	0 – 10	X			
	Этан	0 – 20	X			
	Этилен	0 – 100	X			
	Этилен	0 – 100				X
Тип С	N <sub>2</sub>	0 – 100				X
	н-Бутан	0 – 5		X		
	і-Бутан	0 – 5		X		
	1-Бутен	0 – 25		X		
	t-Бутен	0 – 1		X		
	cis-Бутен	0 – 2		X		
	і-Бутен	0 – 5		X		
Тип D	Метанол	0 – 10 ppm				X
	н-Гексан	0 – 10		X		
	1-Гексен	0 – 20		X		
	C <sub>6</sub> +	0 – 10		X		
	Ацетилен	0 – 5 ppm				X
Тип E	Этан	0 – 400 ppm				X
	CO	0 – 10/20	X			

Рис. 16: Пример параллельной хроматографии на двух хроматографах (завод по производству Полиэтилена)

### Сетевые возможности

Махит II является распределенной аналитической системой, использующей для связи стандартные промышленные протоколы (Рис. 17).

Этим достигается высокоскоростной обмен данными между всеми устройствами. Махит II может работать как отдельно, так и в составе распределенной системы управления или заводской сети, а также может быть подключен к существующим сетям предыдущих версий Advance Data Hiway и ChromLAN.

Преимущества:

- Махит – распределенная аналитическая система
- Работает отдельно или с рабочей станцией, PCY или в составе заводской сети
- Связь со всеми типами сетей по TCP/IP протоколу
- Несколько типов коммуникационных соединений
- Возможность удаленного обслуживания с завода-изготовителя
- MODBUS, ODBC и OPC протоколы.

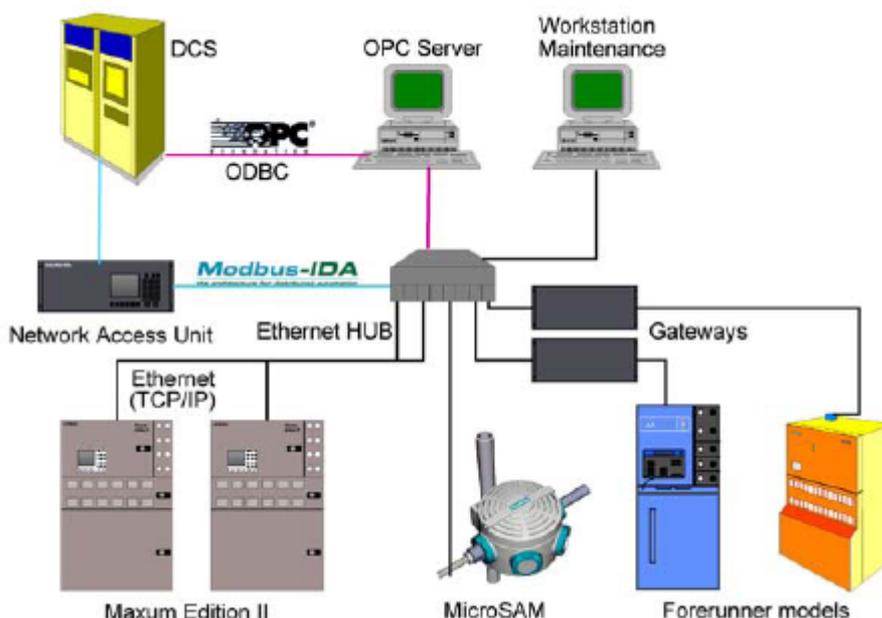


Рис. 17: Хроматографы Махит и MicroSAM, объединенные в единую сеть

# Решение от Siemens Process Analytics (продолжение)

## Поточные газоанализаторы

Поточные газоанализаторы применяются для решения различных аналитических задач, которые зачастую отличаются для различных типов заводов. Обычно, это оборудование используется для обеспечения безопасного протекания процесса или для контроля выбросов в окружающую среду:

- Измерение кислорода (%) – требуется непрерывный контроль в различных потоках для обеспечения взрывобезопасного протекания процесса. Обычно используется Oxumat 6 во взрывобезопасном исполнении.
- Измерение CO и CO<sub>2</sub> в отходящих газах для контроля выбросов в окружающую среду в соответствии с требованиями местного законодательства.
- Измерение O<sub>2</sub> в диапазоне ppm в некоторых потоках для контроля эффективности процесс и качества продукта.
- Измерение влажности во всех основных технологических потоках для оптимизации процесса, защиты катализатора и контроля качества продукта.

Точка отбора	Компонент	Диапазон	Предложение Siemens
Декантер	O <sub>2</sub>	0 – 1 %	Oxumat 6/61
Газ на осушку	O <sub>2</sub>	0 – 100 ppm	Датчик кислорода
Газ после сушки	H <sub>2</sub> O	0 – 100 ppm	
Азот	H <sub>2</sub> O	0 – 1000 ppm	
	O <sub>2</sub>	0 – 100 ppm	Датчик кислорода
	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0-100% LEL	
Отходящий газ	CO	0 – 0,5 %	Ultramat 23/6
	CO <sub>2</sub>	0 – 0,5 %	
	Горючие	0-50% LEL	
Емкость дренажной воды	O <sub>2</sub>	0 – 1 %	Oxumat 6/61
Дренажный канал	Горючие	0-50% LEL	
Вход в экструдер	O <sub>2</sub>	0 – 1 %	Oxumat 6/61

Рис. 18: точки отбора для поточных газоанализаторов (пример)

На рис. 18 приведены примеры точек отбора производства HDPE и указаны компоненты и диапазоны измерений. На Рис. 19 показаны примеры монтажа газоанализаторов Siemens.



## Анализаторы нижних пределов взрываемости

Смеси горючих веществ с воздухом и кислородом потенциально взрывоопасны в определенных диапазонах концентраций. Для каждой смеси определен нижний и верхний пределы взрываемости, зависящие от температуры и давления газа. Специальные детекторы применяются для контроля таких веществ как водород, этилен, пропилен, CO и O<sub>2</sub> в воздухе рабочей зоны внутри и снаружи помещений.

Эти детекторы обычно являются частью системы безопасности аналитических домиков для снижения риска поражения персонала горючими или токсичными газами.

## Газоанализаторы 6-й серии

Все газоанализаторы 6-й серии: Ultramat 6, Calomat 6 и Oxumat 6, имеют сертификаты взрывозащиты и разрешения Госгортехнадзора Российской Федерации на применение во взрывоопасных зонах и Федеральной службы по экологическому, технологическому, атомному надзору на применение на опасных производствах.

# Комплексные системные решения

## Комплексные решения

Анализаторы Siemens широко известны высоким качеством, долгим сроком эксплуатации и точностью измерения. Для того, чтобы максимально усилить эти свойства, анализаторы необходимо интегрировать в условия каждого производства, имеющего свои особенности. Подобный комплекс включает в себе не только непосредственно анализаторы, но и компоненты пробоотбора и пробоподготовки, устройства обеспечения безопасности и утилизации отходов.

Siemens свыше 30 лет поставляет комплексные аналитические системы и зарекомендовал себя надежным партнером в этой области. Мы работаем с заказчиком от стадии инженерной проработки технического задания, до ввода оборудования в эксплуатацию и обучения обслуживающего персонала.



## Мировая поддержка

Siemens имеет три центра поддержки комплексных систем – в Карлсруе, Германия, Хьюстоне, Америка и Сингапуре.

Наше представительство в Москве в сотрудничестве с Российскими инжиниринговыми компаниями обладает квалифицированными кадрами, способными оказывать полную техническую поддержку на территории России, что позволяет оперативно оказывать нашим заказчикам весь спектр технической поддержки.



*Houston, TX USA*



*Karlsruhe, Germany*



*Singapore*

Для получения дополнительной информации,  
Пожалуйста, свяжитесь нашим представительством в Москве.

ООО «Сименс»  
115114, Москва,  
Ул. Летниковская, 11/10, стр. 2

Моев Александр Витальевич (095) 737-2393  
Лисаков Сергей Владимирович (095) 737-2029  
Межуев Олег Викторович (095) 737-2163

[alexander.moev@siemens.com](mailto:alexander.moev@siemens.com)  
[sergey.lisakov@siemens.com](mailto:sergey.lisakov@siemens.com)  
[oleg.mezhuev@siemens.com](mailto:oleg.mezhuev@siemens.com)