

НА МИРОВОМ РЫНКЕ БИМОДАЛЬНЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВ И БАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

И. А. Макарян, И. В. Седов

ИРЭН АРМЕНОВНА МАКАРЯН – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем химической физики Российской Академии наук (ИПХФ РАН), руководитель группы конъюнктурных и технико-экономических исследований. E-mail: irentak@icp.ac.ru.

ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ СЕДОВ – кандидат химических наук Института проблем химической физики Российской Академии наук (ИПХФ РАН), заведующий химико-технологическим отделом. E-mail: isedov@icp.ac.ru.

142432, Московская обл., г. Черноголовка, проспект академика Семенова, 1. Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия.

В обзоре приводится сравнительный анализ базовых технологий получения бимодальных полиэтиленов ведущих мировых компаний, их технических характеристик, применяемых катализаторов и реакторных систем, рассматриваются преимущественные области применения бимодальных полиэтиленов. Представлены мировые компании по производству бимодальных полиэтиленов и ведущие лицензиары полиэтиленовых технологий. Изучены состояние и перспективы развития мирового и региональных рынков полиэтиленов, дан прогноз развития рынка на ближайшие годы.

Ключевые слова: полиэтилен, полиолефины, бимодальный полиэтилен, технология, процесс, реактор, катализатор, компания, лицензиар, мировой рынок, прогноз развития рынка.

STATE OF GLOBAL MARKET OF BIMODAL POLYETHYLENES AND BASIC TECHNOLOGIES FOR THEIR PRODUCTION

I. A. Makaryan, I. V. Sedov

Academician Semenov avenue 1, Chernogolovka, Moscow region, 142432. Russian Federation. Institute of Problems of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences (IPCP RAS).

The review represents a comparative analysis of basic technologies for production of bimodal polyethylenes in the terms of process technical characteristics, reactor construction, catalytic system, process economics, and preferential application fields of bimodal polyethylenes obtained. The world-famous companies specializing in production of bimodal polyethylenes and the leading licensors of corresponding technologies are submitted. The state of global and regional polyethylene markets is studied and the market forecast is given.

Keywords: polyethylene, polyolefines, bimodal polyethylene, technology, process, reactor, catalysts, company, licensor, market forecast.

Введение

Мировой рынок полимеров развивается успешно и динамично, демонстрируя устойчивый рост объемов производства и потребления продукции, среди которой безусловное лидерство принадлежит полиэтилену (ПЭ). Полиэтилены относятся к одним из широко используемых полимеров, обладающих множеством преимущественных характеристик, таких как низкая цена, легкая перерабатываемость в изделия, хорошая химическая стойкость, эластичность, низкая плотность, хорошие механические свойства и пр. Самым распространенным товаром на рынке полиэтиленов благодаря своим замечательным эксплуатационным характеристикам является полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), на который приходится более половины спроса на полиэтилены всех известных видов.

Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) был впервые получен P. Hogan и R. Banks в 1951 г. В середине 1950-х годов производство ПЭВП было коммерциализировано в сларри-процессе компании Hoechst и растворном процессе компании Phillips Petroleum, в 1961 г. была создана суспензионно-петлевая (slurry loop) технология компании Phillips Petroleum, в 1968 г. представлен первый газофазный процесс компании Union Carbide, а в середине 1970-х годов разработан процесс Union Carbide для получения линейного полиэтилена низкой плотности (ПЭНП).

Традиционные технологии получения ПЭВП для выдувного формования изделий осуществляются с использованием одного катализатора в однореакторном процессе, в результате чего получают полимеры с достаточно широким молекулярно-массовым распределением [1], состоящие как из молекул с низкой молекулярной массой, влияющих на эксплуатационные характеристики (в частности, возможность обработки), так и из молекул с высокой молекулярной массой, воздействующих на механические свойства образуемого полимера (стрессовое воздействие окружающей среды (Environmental Stress Crack Resistance (ESCR)), ударная вязкость и т.д.).

Важнейшим эксплуатационным показателем полимеров является плотность (или кристалличность), которая обычно контролируется введением в полимер во время полимеризации небольших количеств сополимера (бутадиен, метилметакрилат, стирол). Эти сополимеры создают короткие боковые ответвления, приводящие к разрушению кристаллической структуры полимера и снижению его плотности. Однако такой процесс недостаточно эффективен, поскольку сополимер предпочтительнее переходит в более короткие полимерные цепи

с меньшей молекулярной массой, что менее эффективно по сравнению с более длинными полимерные цепями влияет на характеристики конечного полимера. В частности, при этом снижаются показатели ESCR и сопротивляемость к удару.

Попытки производителей полиэтиленов улучшить эксплуатационные качества полимеров, постепенно повышая их прочность, жесткость, термостойкость и т.д., часто приводили к ухудшению способности получаемых термопластиков к переработке. Этим недостатком лишены *бимодальные* ПЭ, синтезируемые по *инновационным технологиям* и успешно сочетающие в себе как лучшие качества ПЭНП и ПЭВП, так и хорошую способность полимеров к переработке.

Первый бимодальный ПЭВП был разработан в 1980-х годах компаниями Oxychem (Nissan), Dow (Asahi) и Hoechst Celanese (Hoechst), а позже ExxonMobil лицензировала бимодальную сларри-технологии, принадлежащую компании Mitsui. Драйвером спроса на бимодальные сорта ПЭВП является повышенная потребность в пластиках (пленки, трубы и т.д.) для новых областей применения, в частности, для работы в экстремально суровых условиях эксплуатации [2].

Таким образом, на сегодняшний день основными типами ПЭВП являются:

- ПЭВП, получаемый на основе катализаторов Циглера;
- ПЭВП с широким молекулярно-массовым распределением на основе хромовых катализаторов;
- бимодальный ПЭВП, получаемый на основе катализаторов Циглера.

Целью настоящего обзора является: а) рассмотрение технических характеристик базовых технологий получения бимодальных полиэтиленов ведущих мировых компаний, используемых при этом каталитических систем и реакторных конструкций; б) анализ состояния и перспектив развития мирового рынка полиэтиленов в целом и бимодальных полиэтиленов в частности по основным конъюнктурным показателям.

1. Базовые технологии получения бимодальных ПЭ

Бимодальность и бимодальные продукты. Технологии получения бимодальных полимеров основаны на комбинации двух мономеров с высокой (НМВ) и низкой (ЛМВ) молекулярной массой, при этом обычно используют два реактора полимеризации (ЛМВ и НМВ), соединенных последовательно и работающих в различных технологических режимах. Такой процесс позволяет сополимерам внедряться в высокомолекулярные фрак-

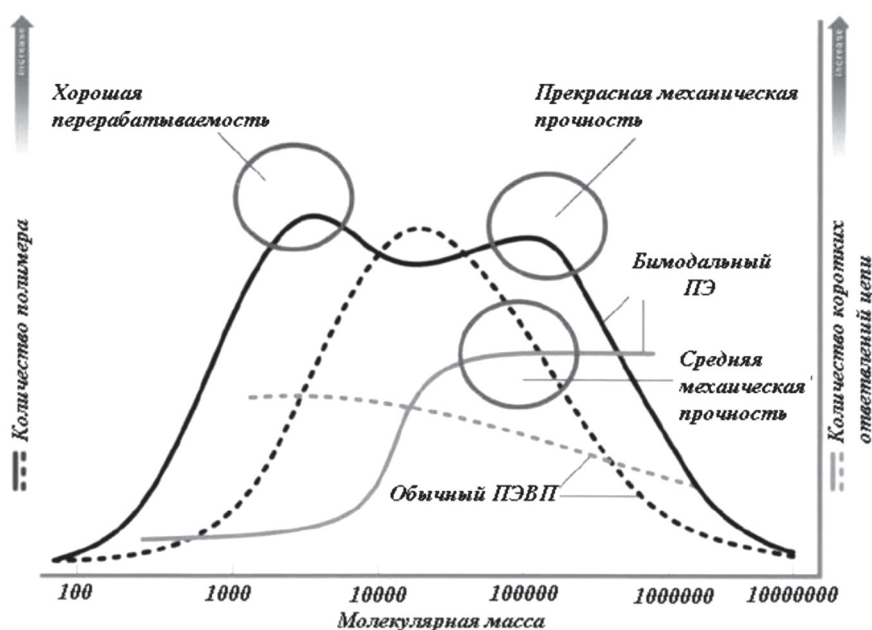


Рис. 1. Кривые распределения молекулярных масс и характеристики обычного ПЭВП и бимодального ПЭ [3]

ции, существенно улучшая физические свойства полимера при заданной плотности.

Технологии получения бимодальных полимеров вносят существенные улучшения в показатели выдувного формования: увеличивается сопротивление стрессовому воздействию окружающей среды ESCR, улучшаются свойства ударной вязкости, что, в конечном счете, приводит к более длительному сроку службы полимерных изделий.

На Рис. 1 представлены кривые распределения молекулярных масс и характеристики обычного и бимодального полиэтиленов [3].

Сравнительные данные рабочих характеристик различных типов сополимеров по технологии выдувного формования отражены в Таблице 1.

Конструкции реакторных систем базовых бимодальных процессов. Условные схемы реакторов полимеризации известных базовых технологий для получения бимодальных полиэтиленов представлены на Рис. 2 [4].

В Таблице 2 на основе данных аналитической компании Star Research [5] собраны сведения об особенностях промышленных технологий выдувного формования с использованием реакторов полимеризации различной конструкции при их эксплуатации в разных технологических режимах. Конечная цель этих производств – получение бимодальных ПЭВП в промышленных масштабах для выпуска тонкой упаковочной пленки и пластиковых труб, работающих под высоким давлением.

Катализаторы технологий для получения бимодальных полиэтиленов. При получении бимодальных ПЭ на основе базовых технологий в промышленности применяют следующие катализаторы:

- хромовые катализаторы: шестивалентный Cr, нанесенный на двуокись кремния; перед употреблением требуется активация при высокой температуре; сокатализатор не требуется;

Таблица 1

Сравнительные характеристики полимерных продуктов, образующихся методом выдувного формования

Характеристика	Бимодальный сополимер	Унимодальный сополимер общего назначения	Унимодальный гомополимер
Индекс плавления (g/10 min)	0,45	0,35	0,7
Плотность (g/cc)	0,957	0,955	0,962
ESCR ® 10 % (hrs)	300	60	15
Модуль гибкости (psi)	170	150	225

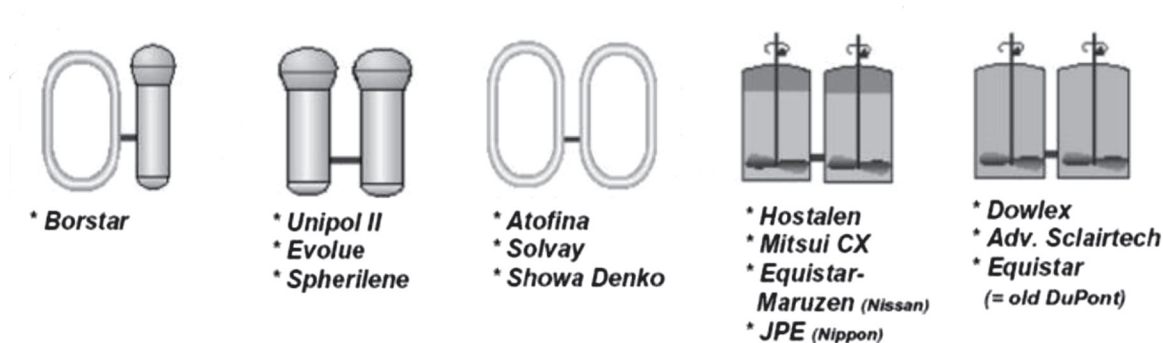


Рис. 2. Реакторы полимеризации, используемые в базовых процессах получения бимодальных полиэтиленов [4]

Таблица 2

Промышленные технологии выдувного формования бимодальных полиэтиленов в реакторах различной конструкции

Процесс	Особенности процесса
Cascade slurry CSTR process	Типичен для производственных процессов, лицензированных компаниями Basell, Equistar/Maruzen, Mitsui и др. Здесь задействованы два и более последовательно соединенных реакторов. Компании Asahi и LG используют процесс для получения металлоценовых сортов бимодального ПЭ.
Cascade loop reactor slurry process	Используется компаниями Total, Showa Denko и Ineos, осуществивших модернизацию технологии, что укрепило их конкурентоспособность на рынке. Кроме получения различных сортов ПЭВП, процесс подходит для производства линейного ПЭНП в присутствии одноцентровых катализаторов SSC.
Super-critical loop/fluid bed process	Создан компанией Borealis. Технологическая схема включает петлевой реактор, работающий при температуре выше критической точки для растворителя полимеризации пропана, за которым располагается газофазный реактор с псевдоожиженным слоем катализатора. Процесс универсален и способен набирать сорта бимодальных ПЭВП и линейных ПЭНП в присутствии любых (уже разработанных и только планируемых к разработке) катализаторов полимеризации.
Single reactor bimodal process	Разработан компанией Univation для своего Unipol gas phase process. Использует смешанные катализаторы для получения смеси двух продуктов в газофазном одnoreакторном процессе (процесс коммерциализирован для производства PE 100). Получены также многомодальные сорта PE 100 в одnoreакторном суспензионно-петлевом процессе в присутствии новой каталитической системы (технология находится на стадии разработки и ее коммерческая ценность пока не ясна).

молекулярно-массовое распределение от среднего до широкого;

- катализатор Циглера(-Натта): $MgCl_2$, нанесенный на $TiCl_4$; требуется металл-алкильный со-катализатор; узкое молекулярно-массовое распределение (ММР); служит для получения бимодальных продуктов по технологии каскадных реакторов с широким ММР;
- металлоценовые (одноцентровые) катализаторы: требуется сокатализатор; узкое ММР (Шульца-Флори); возможно создание бимодальности в одnoreакторном процессе.

Технические характеристики процессов получения бимодальных полимеров. В Таблице 3

приводятся краткие сведения о технических характеристиках ряда известных процессов получения бимодальных полиэтиленов.

Экономика производств по выпуску бимодальных ПЭ. Оценке стоимости производств по выпуску бимодальных ПЭВП с использованием различных технологий посвящено развернутое экономическое исследование, проведенное в работе [6]. Показано, что затраты на коммерциализацию различающихся между собой технологических процессов практически одинаковы (см. Таблицу 4).

В вышеупомянутом исследовании компании STA Research [5], помимо рассмотрения современ-

Таблица 3

Технические характеристики известных процессов получения бимодальных ПЭ

Получение бимодальных ПЭ	Характеристика процесса
Газофазный процесс	<ul style="list-style-type: none"> – катализатор: хромовый, Циглера, металлоценовый; – реактор: с псевдооживленным слоем: 70–110 °С, 15–30 бар, длительное время пребывания в реакторе; – подвижная технология с возможностью получения линейного ПЭНП/ПЭВП; – низкие капиталовложения и эксплуатационные расходы; – возможность создания бимодальности с двумя реакторами.
Растворный процесс	<ul style="list-style-type: none"> – катализатор: Циглера, металлоценовый; – полимеризация протекает в растворе при 150–300 °С, 30–130 бар с коротким временем пребывания в реакторе; – широкий ряд продуктов: линейный ПЭНП/ПЭВП; – возможность получения бимодальности в каскаде реакторов; – более высокие капиталовложения и эксплуатационные расходы.
Процесс Loop Process компании Chevron Phillips	<ul style="list-style-type: none"> – катализатор: хромовый, Циглера, металлоценовый; – активация хромового катализатора в реакторе с псевдооживленным слоем, при термической обработке на воздухе при 600–870 °С; – петлевой реактор: 85–105 °С, 42 бар, концентрация этилена 3–6 %, растворитель – изобутан, удаление тепла охлаждающим агентом в рубашке реактора; – контактная дегазация при 10 бар, 80 °С – дегазация при 85 °С и 0,1 бар.
Процессы Slurry Process – CSTR Process	<ul style="list-style-type: none"> – катализатор: Циглера, металлоценовый; – низкие давление и температура: 6–8 бар, 70–90 °С; – удаление тепла реакции за счет воздушных конденсаторов, сларри-охладителей, реакторной рубашки; – возможность получения бимодальных продуктов: получение полимера с различным молекулярным весом в реакторе 1 и реакторе 2 и встраивание сомономера в высокомолекулярный полимер; – разделение разбавителя и синтезируемого полимера центрифугированием.

Таблица 4

Затраты на получение бимодальных полиэтиленов по различным технологиям [6]
(долл./т в ценах 2008 г., мощность – 400 тыс. т/г)

Статья расходов	Продукт бимодальной технологии				
	Растворный лин. ПЭНП	Газофазный лин. ПЭНП	Газофазный ПЭВП	Slurry loop ПЭВП	Slurry CSTR ПЭВП
Этилен	1223	1222	1326	1324	1334
Сономер	176	159	25	24	25
Катализатор/Химикаты	47	14	27	42	22
Добавки	13	15	18	18	18
Сырье в целом	400 тыс. т/г	400 тыс. т/г	400 тыс. т/г	400 тыс. т/г	1399
Энергия	15	22	25	30	26
Пар	16	2	2	6	13
Другие энергоресурсы	8	10	6	11	8
Общие энергоресурсы	39	34	33	47	47
Общая стоимость	1498	1444	1429	1455	1446

ного состояния технологий получения бимодальных ПЭ, также проанализирован ряд экономических показателей (стоимость капиталовложений в пределах установки, инвестиции в основные технологические секции, эксплуатационные расходы, стоимость сырья, монтажа оборудования, рабочей силы и т.д.) для изучаемых бимодальных процессов полимеризации Cascade Slurry CSTR Process, Cascade Loop Reactor Slurry Process, Super-Critical Loop/Fluid Bed Process и Single Reactor Bimodal Process.

2. Ведущие мировые компании по выпуску бимодальных полиэтиленов

Согласно данным консалтинговой компании IHS Markit [7], в настоящее время лидирующее место на рынке занимают следующие *базовые технологии* ведущих мировых компаний, предназначенные для производства различных видов бимодальных полиэтиленов для возможности их переработки методом выдувного формования: LyondellBasell's Hostalen™ Advanced Cascade Process (ACP); Mitsui Chemical's CX process; INEOS' Innovene™ S; Univation's UNIPOL™ PE process; Chevron Phillips Chemical's MarTECH™ advanced dual loop (ADL) process; Borealis' Borstar™ PE process; LyondellBasell's Hyperzone™ process.

Краткие сведения о ряде ведущих компаний на рынке бимодальных полиолефинов, владеющих собственными базовыми технологиями получения бимодальных ПЭ, приводятся ниже.

LyondellBasell. Компания LyondellBasell является лидирующим разработчиком и лицензиаром технологий по производству бимодальных полиолефинов. Процесс LyondellBasell Lupotech T является мировым лидером в полипропиленовых технологиях, проводимых под большим давлением, а процесс ACPHDPE для получения полипропилена при низком давлении является мировым лидером в производстве высококачественных бимодальных пластмасс ПЭВП. Компания также является лицензиаром процессов Spherilene S и Spherilene C для получения моно- и бимодального линейного ПЭНП и ПЭВП, соответственно. Процесс ACPHDPE позволил ввести дополнительную треть характеристики для нарабатываемых полимеров, позволяющую контролировать такие их важные свойства, как способность к образованию вмятин и разбуханий, чего не в состоянии осуществить в двухреакторном процессе получения бимодальных ПЭ [8].

В августе 2016 г. компания LyondellBasell объявила, что будет строить новый завод ПЭВП мощностью 500 тыс. тонн в год на Gulf Coast в США

по своей новой технологии Hyperzone™ PE (пуск запланирован на 2019 г.) [9]. Эта технология представляет собой каскадный газофазный процесс на основе технологии LyondellBasell Multizone Circulating Reactor (MZCR) и, согласно информации консалтинговой компании IHS Markit, позволит производить широкий набор высококачественных би- и многомодальных полиэтиленов высокой плотности.

Univation. Последняя разработка компании Univation – технология PRODIGY™ Bimodal Catalyst позволяет получать бимодальные линейный ПЭНП и ПЭВП в присутствии металлоценового катализатора в одnoreакторном процессе. Кроме того, благодаря этой технологии стало возможным получение бимодального высокомолекулярного полиэтилена в одnoreакторном процессе UNIPOL™ PE Process [10]. Характеристики получаемого полимера эквивалентны и даже могут превосходить показатели продуктов, нарабатываемых в системах с каскадом из двух и более реакторов, при этом капиталовложения по сравнению с процессами, осуществляемыми в этих реакторах, оказываются на 25 – 30 % меньше. Бимодальные способности, введенные в используемый катализатор, позволяют легко переключаться на производство бимодальных продуктов, если того потребует сложившаяся конъюнктура. Все это позволяет компании Univation конкурировать на мировом рынке с бимодальными продуктами, получаемыми с использованием двухреакторной реакционной системы, требующей более значительных капиталовложений.

Преимущества технологии PRODIGY™ Bimodal Catalyst: одnoreакторный процесс легче контролировать; процесс менее сложный и не требуется оборудования для выделения сларри; наличие высоко- и низкомолекулярных компонентов обеспечивает более высокое качество получаемого продукта; отсутствие второго реактора способствует более легкому запуску и остановке технологического процесса. Становятся лучше и экономические показатели процесса: а) экономия по инвестициям в одnoreакторный процесс UNIPOL™ PE Process для производственной линии в 300 тыс. тонн в год по сравнению с многореакторной технологией оценивается в 35 млн. долларов; б) эксплуатационные расходы, включая коммунальные услуги, обеспечивают 35 %-ную экономию по сравнению с каскадной сларри-реакторной технологией.

Chevron Phillips. Для производства полиэтиленов компания Chevron Phillips применяет свой собственный процесс MarTECH™ Loop Slurry Process, основанный на петлевой технологии, в котором можно использовать два варианта реактор-

ной конструкции с одним Single Loop (SL) и двумя Advanced Dual Loop (ADL) реакторами. Процесс MarTECH™ Loop Slurry Process, представленный компанией еще в 1961 г., даже сейчас остается лидером в петлевой сларри-технологии благодаря тому, что работы по его совершенствованию продолжаются до сих пор, а качество получаемых по этой технологии продуктов служит стандартом для многих производителей полиэтиленов, использующих другие технологии [11].

Chevron Phillips является также эксклюзивным лицензиаром технологии Advanced Dual Loop Technology, разработанной в сотрудничестве с компанией Total Petrochemicals. Эта технология способна производить до 500 тыс. тонн в год полиэтиленов 100 различных сортов.

Mitsui. Технология компании Mitsui Chemicals под названием CX technology предназначена для производства бимодальных ПЭВП высокого класса и была впервые коммерциализирована в Японии в 1958 г. Вначале использовался катализатор $TiCl_4/Et_2AlCl$ (Ziegler, 1953), а затем катализатор второго поколения $MgCl_2/TiCl_4/Et_3Al$, который был разработан компанией Mitsui в 1968 г. [12].

Технология CX успешно эксплуатируется уже более 60 лет и имеет 45-летний опыт лицензирования. Производительность более 48 заводов CX суммарно составляет 7 млн. тонн в год. Для получения ПЭВП всех видов используется один и тот же тип высокоактивного катализатора, который имеет хорошую морфологию и прост в изготовлении. Получаемые полимеры ПЭВП обладают регулярной молекулярной структурой; реактор может работать без остановки в течение нескольких лет; возможен легкий перезапуск производства.

Borealis. Технология компании Borealis Borstar® Bimodal предназначена для производства бимодальных полимеров и позволяет получать такие линейные полиэтилены низкой плотности ПЭНП, как Borstar LLDPE, Borshape™ LLDPE и BorLite™ LLDPE [13].

В частности, в конце 1990-х годов компания Borealis Polymers Oy запустила в действие полиэтиленовый завод в Porvoo (Финляндия) для получения бимодальных ПЭ, который работает и в настоящее время. Полиэтилены характеризуются хорошей перерабатываемостью и высокими механическими свойствами, чего удается достичь за счет оптимизации нужного молекулярно-массового распределения под конкретные требования заказчика полимерной продукции [14]. В основе разработанного компанией процесса Borstar является газофазный каскадный петлевой реактор с использованием сверхкритического пропана в качестве растворителя полимеризации, что позволя-

ет получать более широкий спектр полиэтиленовой продукции различной плотности (от линейного ПЭНП до ПЭВП) по сравнению с традиционными растворителями.

DOW. Компания DOW производит следующие бимодальные полиэтиленовые пластики семейства Continium™, используя технологию Unipol™ II Process Technology (патентованный сдвоенный реактор, газофазный процесс):

- а) бимодальный полиэтилен высокой плотности (ПЭВП);
- б) бимодальный полиэтилен средней плотности (ПЭСР);
- в) так называемый северо-американский ассортимент бимодальных полиэтиленов [15].

Линейка пластиков Continium™ компании DOW обладает рядом преимуществ: длительный срок службы и более низкая стоимость; расширенные условия эксплуатации, включая высокие температуры и давления; резкое снижение способности к разлому (возможно снижение в 150 раз); потенциал для снижения и/или увеличения выхода; экструзия с широким диапазоном диаметров, включая большие (более 14 дюймов); эффективность сооружения и сборки труб в условиях их бестраншейной укладки или в котлованах.

3. Крупнейшие мировые лицензиары полиэтиленовых технологий

Мировой полиэтиленовый рынок постоянно развивается. В последнее время ведущие мировые лицензиары технологий получения полиэтиленов особенно заметно активизировались на североамериканском рынке в связи с использованием здесь в качестве этанового питания шельфового газа. Однако рынки Азии и Ближнего Востока также привлекают внимание лицензиаров, поскольку многие из них уже достигли на этих рынках больших успехов.

На североамериканском рынке полиэтиленовыми лидирующими лицензиарами технологий получения ПЭ являются три компании: Sasol, Formosa Plastics и Odebrecht. Так, компания Formosa анонсировала свои новые проекты по крекингу и получению низкомолекулярного полиэтилена в Point Comfort (шт. Техас, США). Планы компании Odebrecht относительно крекинга трех полиэтиленовых установок в Западной Виржинии находятся на ранней стадии разработки, поэтому о мощностях или предполагаемых сортах получаемых ПЭ пока не сообщается. Запланированная установка ПЭВП южноафриканской компании Sasol будет построена в рамках совместного предприятия с компанией INEOS, которая является лидирующим

Новые полиэтиленовые проекты ведущих лицензиаров для реализации в Северной Америке

Компания	Проект	Мощность, т/год	Сорт	Расположение	Запуск, год
Chevron Phillips Chemical	новые установки (2)	1 млн.	HDPE, LLDPE, др.	Texas, США	2017
Dow Chemical	новые установки	нет сведений	PE, LDPE	Texas, США	2017
ExxonMobil Chemical	новые установки (2)	1,3 млн.	PE (премиум класс)	Texas, США	2016
Formosa Plastics	новая установка	300 тыс.	LDPE	Texas, США	2016
LyondellBasell	увеличение мощности	100 тыс.	не подразделены	США	I кв. 2014
LyondellBasell	новая установка	454 тыс.	не подразделены	США	2016
NOVA Chemicals	увеличение мощности	нет сведений	LDPE	Mooretown, Канада	2018
NOVA Chemicals	модернизация	нет сведений	HDPE	Mooretown, Канада	2018
NOVA Chemicals	новая установка	430 тыс., 500 тыс.	LLDPE	Joffre, Канада	I кв. 2016
NOVA Chemicals	новая установка	нет сведений	высший	США	2020
Odebrecht	новые установки (3)	нет сведений	не подразделены	West Virginia, США	нет сведений
Sasol	новая установка	450 тыс.	LLDPE	Luisiana, США	2016
Sasol	новая установка	420 тыс.	LDPE	Luisiana, США	нет сведений
Sasol/Ineos	новая установка	470 тыс.	HDPE	США	конец 2015
Shell Chemicals	новые установки	нет сведений	не подразделены	Pennsylvania, США	2019–2020

лицензиаром ПЭ технологии (процесс Innovene). Заявленная Sasol/Ineos установка по производству ПЭВП мощностью 470 тыс. тонн в год с пока еще неизвестным месторасположением в США будет использовать технологию Ineos Technology Innovene Process. Для получения бимодальных сортов ПЭВП завод будет осуществлять сларри- процесс в вертикальном реакторе по технологии Ineos Technology Innovene S.

Обе установки Sasol по производству линейного полиэтилена высокой плотности ПЭВП, а также ПЭВП запланированы к строительству в Lake Charles (шт. Луизиана, США) и будут использовать технологии Univation Technologies Unipol Process и ExxonMobil Chemical Tubular Technology, соответственно. Процесс Univation представляет собой газофазную полиэтиленовую технологию, которой компания Univation владеет совместно с компа-

ниями ExxonMobil Chemical и Dow Chemical. Сообщается, что основной инжиниринг по процессу получения линейного ПЭВП будет осуществлять Toyo Engineering Corp. (Япония), а по процессу ПЭВП – компания Mitsui Engineering & Shipbuilding (Япония). Планируемая мощность завода Unipol по выпуску линейного ПЭВП составляет 450 тыс. тонн в год и он будет выпускать широкий спектр полиэтиленовой продукции, включая и марки, полученные с использованием металлоценовых катализаторов (напомним, что компания Sasol уже имеет один такой завод в Sasolburg (ЮАР), действующий с 1983 г.).

Новые полиэтиленовые проекты, намеченные к выпуску в Северной Америке по лицензионным соглашениям, объединены в Таблице 6 на основе данных аналитической компании ICIS [16].

Помимо проектов на североамериканском полиэтиленовом рынке, подписано много важных ли-

цензионных соглашений и на других региональных рынках. Так, в середине 2013 г. компания Univation сообщила, что катарские компании Gatar Petroleum и Gatar Petrochemical будут использовать ее технологию Unipol на трех реакторных линиях в нефтехимическом комплексе AL Sejeel в Ras Laffan (Катар) общей мощностью в 1,59 млн. тонн в год. Одна линия производительностью 550 тыс. тонн в год будет производить линейный ПЭНП, а две другие линии, каждая мощностью 520 тыс. тонн в год, предназначены для выпуска ПЭВП. Здесь будут использоваться такие технологии Univation, как XCAT Metallocene и Prodigy Bimodal Catalysts (максимально допустимая мощность для реакторов Unipol составляет 600 тыс. тонн в год).

Дополнительно к своей технологии Innovene S, компания Ineos предлагает второй вариант этой технологии под названием Innovene G, где используется газофазный процесс в реакторе с псевдооживленным слоем (в последние годы были востребованы оба варианта технологий). Ineos подписала лицензионный договор с компанией Xinjiang Banguo Chemical (Китай) по использованию Innovene G на установке ПЭВП/линейный ПЭНП мощностью 250 тыс. тонн полиэтилена в год.

В Малайзии компания Burel Industries лицензировала использование Univation Unipol Technology на двух полиэтиленовых линиях общей производительностью 500 тыс. тонн в год, запланированных для установки на строящемся интегрированном нефтехимическом комплексе в Gebang, Industrial Park (Кувейт). Обе эти линии будут использовать технологии XCAT и Prodigy Catalysts с получением полного набора сортов линейного ПЭНП и ПЭВП.

В конце 2012 г. компания Ineos подписала лицензионный договор с компанией PETRONAS на использование технологии Innovene G для получения линейного ПЭНП/ПЭВП на установке производительностью 350 тыс. тонн в год как части проекта Rapid в Jonor (Малайзия). Строительство огромного нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса здесь было отложено, но должно было возобновиться в 2018 г.

В последние годы лицензии для установки полиэтиленовых мощностей на других региональных рынках приобрели следующие компании: чешская компания Unipetrol – для установки по технологии Innovene S по выпуску ПЭВП в Litvinov (Чехия), китайская CNOOC – для строительства установки по технологии Innovene S мощностью 450 тыс. тонн ПЭВП в год в Huizhou (Китай), российская компания Нижнекамскнефтехим – для запуска завода мощностью 300 тыс. тонн в год по технологии Innovene G в Нижнекамске (Татарстан, Рос-

сия), предназначенной для производства металлоценовых бимодальных полиэтиленов высокого качества.

Лидирующей мировой лицензиар полиэтиленовых технологий компания LyondellBasell, построившая в США установку мощностью 100 тыс. тонн в год, а в конце 2016 г. – завод в США мощностью 450 тыс. тонн в год благодаря активному использованию здесь шельфового газа, разрабатывает стратегию попадания и на другие региональные рынки. У компании есть ряд полиэтиленовых технологий для лицензирования, включая газофазный процесс Spherilene, сларри процесс при низком давлении Hostalen и автоклавный процесс при высоком давлении Lupotech Spherizone. Стало известно, что LyondellBasell подписала лицензионный договор с китайской компанией Sinopec International, согласно которому в Китае построят три завода Lupotech A LDPE/EVA. Другие лицензионные соглашения компании по получению ПЭ включают: завод мощностью 300 тыс. тонн в год для выпуска LDPE и EVA по технологии Lupotech T и A для компании Jiangsu Saiboat Petrochemical в Lianyungang (Китай); установка по производству Lupotech T LDPE мощностью 270 тыс. тонн в год для компании China Shenhua Coal to Liquid and Chemical Co., которая будет построена в Xinjiang. Это вторая для китайских компаний лицензия, полученная от компании LyondellBasell, так как ранее в 2012 г. LyondellBasell уже подписывала лицензионное соглашение на строительство полиэтиленового завода в Yulin (Китай).

Компания Chevron Phillips Chemical имеет два ПЭ проекта для реализации в Sweeney (шт. Техас, США). Согласно подписанным лицензиям, здесь планируется строительство двух заводов мощностью по 500 тыс. тонн в год, которые будут производить линейный ПЭНП и ПЭВП с использованием технологий компании Chevron Phillips Chemical под названием MarTECH Sigle Loop (SL) и Advanced Dual Loop (ADL) Slurry для выпуска бимодальных и металлоценовых сортов полиэтиленов (технология Loop Slurry компании Chevron Phillips Chemical выпущена на рынок под торговой маркой MarTECH). В 2012 г. Saudi Polymers запустила две крупнейшие производственные полиэтиленовые линии по лицензированной технологии MarTECH мощностью по 500 тыс. тонн в год в Al Jubail (Саудовская Аравия).

Тем временем компания NOVA увеличивает свои мощности в Канаде. Так, NOVA Chemicals в свете выполнения своей стратегии NOVA 2020 по увеличению производства в Ontario (Канада), продолжает увеличивать там мощности своего второго производства по технологии Advanced

SCLAIRTECH Technology (AST), запланированно к запуску на период 2014 – 2018 гг., когда уже существующее там производство будет расширено и модернизировано. За это время компания NOVA Chemicals намерена продолжить попытки по внедрению производств по своей технологии AST не только в Канаде, но и на мировом полиолефиновом рынке.

Таким образом, на мировом полиэтиленовом рынке наблюдаются интенсивные движения по заключению многочисленных лицензионных соглашений с ведущими мировыми компаниями на приобретение прав на хорошо себя зарекомендовавшие базовые технологии получения различного вида полиэтиленов, включая бимодальные сорта.

4. Конъюнктурные показатели мирового рынка полиэтиленов

Мировой рынок полиэтиленов различных сортов с момента его формирования и до наших дней успешно и активно развивается. Рассмотрим ряд конъюнктурных особенностей этого рынка.

Объемы рынка, спрос и предложение, прогноз развития рынка. Мировые полиэтиленовые мощности в 2016 г. составляли 108,3 млн. тонн и к 2027 г. должны возрасти до 150 млн тонн при загрузке мощностей на уровне около 85,3 % [17].

Мировое потребление ПЭ в 2017 г. составляло более 95 млн. тонн и, согласно прогнозам аналитической компании Wood Mackenzie, к 2025 г. должно превысить 125 млн. тонн. Непрерывающийся рост спроса на продукт объясняется широким спектром областей его применения [18].

Согласно данным специалистов аналитической компании Freedonia Group, в течение 2018 г. мировой спрос на ПЭ должен увеличиваться со скоростью 4,0 % и достигнуть 99,6 млн. тонн (в стоимостном выражении – 164 млрд. долларов), чему будет способствовать восстановление мировой экономики после спада с соответствующим увеличением производственной активности и покупательной способности населения [19]. Рост спроса на важнейший пластик ПЭ определяется его универсальностью, низкой стоимостью, легкостью переработки и пригодностью для использования в качестве вторичного сырья. Немаловажную роль играет возможность получения ПЭ из новых сырьевых источников, таких как шельфовый газ, уголь, биомасса. Более того, этому способствует постоянное усовершенствование технологий полимеризации и соответствующих каталитических систем.

В период 2018–2023 гг. мировой полиэтиленовый рынок будет увеличиваться с еще большей ско-

ростью (среднегодовая скоростью роста составит 5,81 %) [20]. В этот период будет по-прежнему увеличиваться спрос на ПЭВП (трубопроводы; тара для питьевой воды, химикатов, вредных химических отходов и сжиженных газов и т.д.). Самый большой спрос на ПЭ в 2018 г. останется за упаковочными материалами. Так, в наши дни на упаковочные пленки приходится около половины мирового спроса на полиэтилен и, скорее всего, эта тенденция в ближайшее время будет особенно заметна на большинстве региональных рынков развивающихся стран. По-прежнему самым быстрорастущим регионом будут оставаться страны Азиатско-Тихоокеанского Региона (АТР).

На Рис. 3 приводятся установленные производственные мощности ПЭВП и степень их загруженности, а также спрос и предложения ПЭВП с прогнозом развития рынка до 2024 г. [21].

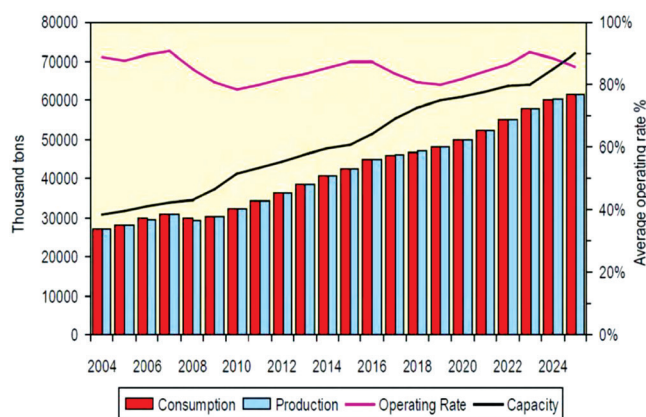


Рис. 3. Производственные мощности, спрос и предложение, степень загруженности мощностей на мировом рынке ПЭВП, прогноз развития рынка до 2024 г. [21]

Среднегодовые скорости роста мирового спроса на три разновидности полиэтиленов: полиэтилен высокой плотности (HDPE), полиэтилен низкой плотности (LDPE) линейный ПЭВП (LLDPE) в период 2006–2018 гг. отражены на Рис. 4 [21].

Как отмечается в [17], все большее значение для дальнейшего развития мирового рынка пластиков приобретают возросшие экологические проблемы. Тенденция развития мирового экологического движения такова, что в последние годы оно заметно окрепло, активизировались демонстрации, направленные на борьбу с пластиковыми отходами (согласно данным некоммерческих организаций, к 2025 г. их количество в мировом океане увеличится почти вдвое). В связи с этим правительствами многих стран ужесточаются и вводятся новые экологические нормативы; уделяется по-

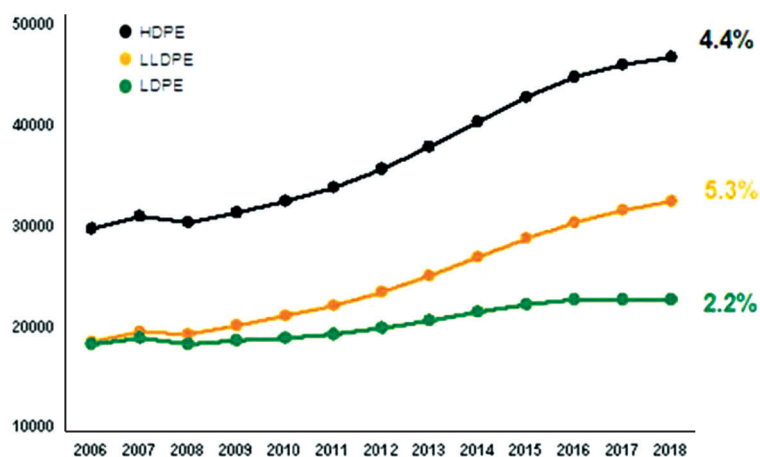


Рис. 4. Рост мирового спроса на полиэтилен высокой плотности (HDPE), полиэтилен низкой плотности (LDPE) линейный ПЭНП (LLDPE) (среднегодовая скорость роста, %) [21]

вышенное внимание разработке более экологически чистых полимерных технологий и выпускаемых пластиков.

Положение на региональных рынках полиэтилена. Мировой рынок полиэтиленов представляет собой очень сложный механизм, в работе которого особое значение приобретает конкурентоспособность участников рынка. При этом мировой рынок находится в тесной зависимости от положения на региональных рынках. Важным балансирующим фактором устойчивого развития мирового рынка ПЭ является межрегиональная торговля. В целом большинство инвестиций в полиэтиленовые производства вкладывается в регионах с недорогими сырьевыми источниками, таких как Ближний Восток и Северная Америка. Для удовлетворения быстрорастущего внутреннего спроса на различные сорта полиэтиленов Китай продолжает осуществлять огромные инвестиционные вложения в создание новых полиэтиленовых мощностей.

Самым большим и быстрорастущим региональным рынком на мировом рынке полиэтилена в 2018 г. остаются страны АТР, что связано с сильнейшим спросом на продукт со стороны Китая (в 2013 г. около одной четверти мирового спроса на ПЭ приходилось на эту страну) [19]. Также к быстроразвивающимся региональным рынкам АТР относятся Индия и Вьетнам, однако согласно прогнозам, рост спроса на полиэтилен в ближайшее время здесь окажется немного слабее, чем в период 2013–2018 гг. С другой стороны, значительно увеличивается спрос на ПЭ в Северной Америке, тогда как на рынках Западной Европы и Японии спрос на продукт после своего недавнего падения начнет восстанавливаться.

Компания IHS отмечает [22], что производители полиэтиленов в Северной Америке и на Ближ-

нем Востоке продолжают сохранять свои конкурентные преимущества по показателям стоимости исходного сырья, поэтому они увеличат объемы своих поставок на экспорт, что приведет к серьезным сдвигам в конъюнктуре мирового рынка полиолефинов в целом. Сообщается, что в ближайшие пять лет запустятся в промышленное производство проекты таких известных компаний, как Dow Chemical, ChevronPhillips, Equistar (LyondellBasell), ExxonMobil, Formosa, INEOS Sasol, Nova, PTTGC и Shell. Так, в 2017 г. компания ExxonMobil открыла дополнительные полиэтиленовые производства в Beaumont (шт. Техас) и Mont Belvieu (шт. Техас) суммарной мощностью более 2 млн. тонн, компания ChevronPhillips добавила 1 млн. мощностей, а Dow Chemical ввела 900 тыс. тонн дополнительных мощностей. По объемам потребления в странах АТР и сейчас продолжает лидировать Китай, на долю которого приходится 97 % от общего роста потребления ПЭ в этом регионе.

Особенности рынка бимодальных ПЭВП. Мировой спрос на самый распространенный на полиэтиленовом рынке полимер полиэтилен высокой плотности ПЭВП в 2015 г. находился на уровне 40,1 млн. тонн в год, что составило 45 % от мирового спроса на все виды полиэтиленов. Специалисты аналитической компании IHS Markit прогнозируют, что в период 2015 – 2020 гг. спрос на него будет увеличиваться со скоростью 4,5 % в год [22].

Основным драйвером роста спроса на рынке ПЭВП являются продукты на основе бимодальных ПЭВП, которые задействованы в двух основных областях применения: трубы, работающие под давлением (например, PE 100), и пластики, полученные методом продувочного формования. Будет расширяться также и доля на рынке полиэтилена низкой плотности ПЭНП и линейного полиэтилена низ-

кой плотности ЛПЭНП, в основном за счет развития технологий получения с использованием металлоценовых катализаторов, которые заметно улучшают характеристики конечных продуктов [19].

Рост мирового рынка бимодальных ПЭВП пластмасс в период 2015 – 2016 гг. составил около 6 млн. тонн. Самым большим сегментом рынка бимодального ПЭВП по-прежнему остаются бимодальные пленки. В частности, пленки, полученные по новой технологии компании Univation под названием PRODIGY™ Bimodal Catalyst, конкурентоспособны по сравнению с коммерческими продуктами, полученными в сларри-реакторах, и как считают их производители, способны занять достойную нишу на рынке полиэтиленов высокой плотности [10].

Заключение

Сравнительный анализ технологий получения бимодальных полимеров, в частности полиэтиленов, осуществленный в ходе проведения настоящих исследований, показал, что такие технологии вносят существенные улучшения в показатели последующей переработки бимодальных полиэтиленов методом выдувного формования: увеличивается сопротивляемость стрессовому воздействию окружающей среды, улучшаются свойства ударной вязкости, что приводит к повышению износостойкости и более длительному сроку службы полимерных изделий.

Изучение положения на мировом и региональном рынках полиэтиленов в целом показало, что рынки активно развиваются, а самым востребованным товаром на них является ПЭВП, спрос на который составляет почти половину мирового спроса на все виды полиэтиленов. При этом основным драйвером роста спроса на рынке ПЭВП являются бимодальные ПЭВП, обладающие рядом конкурентных преимуществ по сравнению с другими коммерческими продуктами, полученными по другим технологиям.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг., шифр темы 0089-2018-0018.

Литература

1. B5845 Bimodal Molecular Weight Polyethylene for Blow Molding. // URL: <http://www.totalpetrochemicalsrefiningusa.com/brochures/Bimodal%20BlowMoldingBrochure.pdf>
2. POPS: Global Bimodal HDPE Market-2017. Published: September 2017. http://thinking.nexant.com/sites/default/files/report/field_attachment_abstract/201708/POPS17_SUP_Bimodal_Abstract.pdf
3. Бимодальные технологии получения полиэтилена 3-го поколения (обзор) / В. В. Лебедев // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2011. - № 4. - С. 99-105. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Itte_2011_4_16 http://library.kpi.kharkov.ua/files/JUR/ite_2011_4_Lebedev_Bimodalnyye_tekhnologii.pdf
4. Steven Sheu. Enhanced Bimodal PE makes the impossible possible. // URL: <http://www.tappi.org/content/06asiaplace/pdfs-english/enhanced.pdf>
5. Bi-Modal Polyethylene Processes: Characteristics, Costs and Competitive Domains // URL: http://staresearch.mysite.com/1_column_page_9.html
6. HDPE Technology including MDPE and LLDPE 2010. Eloado: Adam Csaba. // URL: https://mol.hu/images/pdf/A_MOL_rol/tvkrol/tarsasagunkr%C3%B3l_roviden/egyetemi_kapcsolatok/miskolci_egyetem/oktatasi_anyagok/HDPE%20eloallitasa.pdf
7. IHS Markit. Bimodal HDPE Report-19G. Published November 2016 // URL: <https://ihsmarkit.com/products/pepreport-19G-bimodal-hdpe.html>
8. Research and Markets: LyondellBasell's New Bimodal Polyethylene Process: The Ultimate Evolution. March 30, 2015. // URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20150330005330/en/Research-Markets-LyondellBasells-New-Bimodal-Polyethylene-Process>
9. Bimodal HDPE production by a gas-phase process similar to LyondellBasell's Hyperzone Process. PEP Review 2017-05. Published February 2017. // URL: <https://ihsmarkit.com/products/pep-review-2017-05-bimodal-HDPE-production-gas-phase-lyondellbasells-hyperzone.html>
10. Univation Technologies. PRODIGY™ Bimodal Catalyst. // URL: <http://www.univation.com/catalysts-prodigy.php>
11. Chevron Phillips. The Unique MarTECH™ Loop Slurry Reactor Process. // URL: <http://www.cpchem.com/en-us/rnt/licensing/petech/pages/process.aspx>
12. CX technology for HDPE project. Mitsui Chemicals. // URL: https://www.mitsuichem.com/en/techno/license/pdf/cx_process.pdf
13. Bolearis Borstar® Bimodal. // URL: <https://www.bolearisgroup.com/polyolefins/consumer-products/flexible-packaging/blown-film/borstar-bimodal-technology>
14. Borstar – The Newest Generation Polyethylene Technology. Article. January 1996. // URL: https://www.researchgate.net/publication/293767383_Borstar_The_newest_generation_polyethylene_technology
15. CONTINUUM™ Bimodal Polyethylene Resins URL: <https://www.dow.com/plasticpipes/na/products/continuum.htm>
16. Special Report: PE licensors are in active mode. 06 June 2014. Source: ICIS Chemical Business. // <https://www.icis.com/resources/news/2014/06/06/9789048/special-report-pe-licensors-are-in-active-mode/>
17. Petrochemicals Infographic: What's in Store for Global Polyethylene and Polypropylene out to 2027? Septem-

- ber 7, 2017 // URL: <https://blogs.platts.com/2017/09/07/infographic-whats-store-global-polyethylene-polypropylene-2027/>
18. Polyethylene Global Supply Demand Analytics Service. Wood Mackenzie URL: <https://www.woodmac.com/news/editorial/polyethylene-global-supply-demand-analytics-service/>
 19. Demand will be driven by polyethylene's versatility, easy processability, low cost, and recyclability... // URL: <https://www.freedoniagroup.com/industry-study/world-polyethylene-3210.ht>
 20. Global Polyethylene Market 2018. Industry Key Players, Trends, Sales, Supply, Demand, Analysis & Forecast 2023. // URL: <http://www.erienewsnow.com/story/39026592/global-polyethylene-market-2018-industry-key-players-trends-sales-supply-demand-analysis-forecast-2023>
 21. Polyethylene Production Technologies. Echem. Enppi. // URL: https://www.researchgate.net/...HDPE.../POLYETHYLENE_...
 22. IHS: Asia driving strong global demand for polyethylene. 1.25.2017. // URL: <https://www.hydrocarbonprocessing.com/news/2017/01/ihs-asia-driving-strong-global-demand-for-polyethylene>