

Весомый вклад в успех проекта с первым летательным аппаратом Solar Impulse 2, приводимым в движение исключительно солнечной энергией, внесли полиуретаны, которые существенно уменьшили его массу и одновременно обеспечили защиту пилотов от переохлаждения и перегрева (фото: Covestro)



# Полиуретан – вечно молодой и востребованный в свои 80 лет

В 2017 г. исполнилось 80 лет с того момента, как д-р *Отто Байер* (Otto Bayer) почти случайно «изобрел» химию полиуретанов, основанную на реакции диизоцианатов и полиолов. Без преувеличения можно сказать, что полиуретаны с тех пор изменили мир, который обязан им энергоэффективными холодильниками, комфортной мягкой мебелью, удобными и надежными автомобильными креслами, защитными покрытиями, быстро схватывающими клеями и герметиками, легкими и прочными изделиями из композитов. Да и сами по себе полиуретаны представляют собой отдельный мир среди полимерных материалов, если учесть то разнообразие составов, свойств и функциональных возможностей, которыми они обладают. И история успеха полиуретанов продолжается.

Первый продукт, полученный д-ром *Байером* (фото 1), выглядел странно и напоминал губку, поры которой были следствием образования углекислого газа как побочного продукта реакции. Руководство говорило в шутку, что этот продукт можно использовать «разве что в качестве суррогата швейцарского сыра». Но сам изобретатель и его команда не отчаивались и не давали сбить себя с толку. В последующие годы они посвятили себя, помимо лабораторных исследований, изучению вопроса, где могли бы применяться вспененные материалы, волокна и эластомеры из нового синтетического материала.

Однако, прежде чем разрабатывать и выводить такие виды продукции на рынок, предстояло решить ряд сложных задач. Во-первых, нужно было задуматься о налаживании промышленного производства, ко-

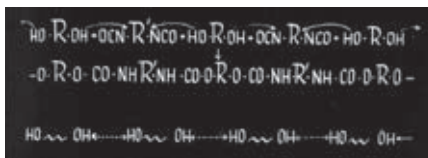


Фото 1. Д-р *Отто Байер* и первая приведенная им запись принципиального механизма химической реакции взаимодействия диизоцианатов и полиолов с образованием полиуретана (фото: Bayer AG)

торое невозможно без соответствующей технологии и оборудования. Во-вторых, и это было самым сложным, предстояло решить проблему: как обеспечить конечное качество продукции, если химическую реакцию, а значит, и собственно производство полиуретанов осуществляет не химик, а непосредственно переработчик. И эти задачи в дальнейшем были успешно решены.

## О становлении и развитии полиуретанов

На примере разработок компании *Байер*, в которой был создан ПУ, ее бизнес-подразделения в лице компании *Bayer MaterialScience* и, наконец, ее правопреемницы – компании *Covestro* – можно проследить становление и развитие ПУ – с момента их создания и до настоящего времени. В табл. 1 в хронологическом порядке приведены основ-

ные вежи на этом пути, а далее – примеры некоторых сравнительно недавних разработок в области новых ПУ и сфер их применения.

### Дебют диоксида углерода в качестве сырья

В 2016 г. первая автоцистерна с полиолом на основе диоксида углерода покинула предприятие в г. Дормангене, расположенном близ г. Кельна (фото 2). Именно там находится запущенная в эксплуатацию производственная установка компании Covestro, которая предназначена для изготовления с использованием CO<sub>2</sub> полиола марки cardyon – одного из основных компонентов мягких ППУ, применяемых в производстве матрасов и мягкой мебели.

Главная особенность новой непрерывной технологии заключается в том, что диоксид углерода, используемый в качестве сырья, заменяет нефтепроизводные, на которых основывается производство полиола; тем самым сделан важный вклад в сохранение климата. Полиол, выпускаемый на установке в г. Дормангене, на 20 % состоит из диоксида углерода. В лабораторных условиях уже доказана возможность получения других видов продукции с содержанием диоксида углерода, превышающим 40 %. В дальнейшем предполагается, не ограничиваясь мягкими пеноматериалами, разработать технологии производства других видов полимерных материалов с использованием диоксида углерода. Например, уже продуманы и частично апробированы в лаборатории способы получения предпродуктов для производства твердых пеноматериалов



Фото 2. Начало загрузки нового полиола (а), который за короткое время в количестве 18 т будет перекачан в цистерну (б) (фото 2–4: Covestro)



## Компетентность с фирмой KOCH

### ККТ

Мобильные приставные сушилки с сенсорной панелью. Снижение расхода электроэнергии на 40%.



Серия **GRAVIKO GK**  
Гравиметрическое дозирование и взвешивание, контроль и анализ в рамках одной рабочей операции.



### ЕКО

Высокое качество сушки при снижении расхода электроэнергии на 40%.

Серия **КЕМ**  
Прибор прямого добавления краски серии КЕМ с объемным дозированием.



Производители всего мира доверяют надежным системам с компонентами модульной системы «Koch».

ООО «Koch Техник» Россия  
г. Нижний Новгород,  
ул. Свирская, д. 20  
Тел./факс (831) 225 00 60  
e-mail: info@kt-r.ru

Головной офис в Германии:  
Тел. +49 7231 8009-66  
консультация на русском языке  
wbirkle@koch-technik.de  
skype: w.birkle\_koch-technik



www.koch-technik.com/ru



Таблица 1. Основные исторические вехи развития ПУ (источник: <http://press.covestro.com/news.nsf/id/80-years-of-polyurethane>)

Год	Событие
1937	Открытие химии полиуретанов д-ром <i>Байером</i> и получение «свидетельства о рождении» в виде патента DRP 728 981
1943	Создание первых марок изоцианата ( <i>Desmodur</i> ) и полиола ( <i>Desmophen</i> )
1952	Разработка первого мягкого пенополиуретана (ППУ) марки <i>Moltopren</i> на основе толуолдиизоцианата (ТДИ) и сложных полиэфирполиолов. В последующие годы на рынке появляются также и простые полиэфирполиолы, что значительно расширяет спектр областей применения полиуретанов
1955	Регистрация марки <i>Desmorap</i> термопластичных полиуретанов (ТПУ), которые существенно расширили области применения благодаря возможности их переработки в изделия всеми высокопроизводительными методами, характерными для термопластов, – литьем под давлением, экструзией и др.
1958	Создание первых лаков на основе изоцианата <i>Desmodur</i> и полиола <i>Desmophen</i> (так называемых DD-лаков), а затем и полиуретановых клеев, которые благодаря разнообразию составов и свойств уверенно занимают свою нишу на «клеевом» рынке
1962	Премьера эффективной теплоизоляции из жесткого ППУ, который до сих пор доминирует в области холодильной техники, обеспечивая ее экономичную работу
1967	Первый автомобиль с полностью пластиковым кузовом, представленный на выставке «К-1967» в Дюссельдорфе
1968	Разработка технологии непрерывного ламинирования, которая позволила непрерывно производить блоки из жесткого ППУ и открыла путь на рынок плитам, все более широко применяющимся с тех пор для эффективной теплоизоляции зданий
1970	Появление жестких ППУ с металлической облицовкой, известных в дальнейшем как «сэндвич-панели» Использование систем <i>Baydur</i> для производства интегральных ППУ с переменной пористостью по сечению изделий
1980	Производство комфортабельных сидений автомобильных кресел с различной жесткостью на основе полиуретановой композиции <i>Bayfit</i> В конце 1980-х гг. на рынке появляются полиуретановые марки <i>Bayhydrol</i> и <i>Bayhydur K</i> , которые используются в производстве лаков на водной основе
1990	Разработка вязкоэластичных ППУ, которые принимают первоначальную форму лишь постепенно, обеспечивая еще больший комфорт, чем обычные мягкие ППУ. Важная область их применения – специальные матрасы для лежачих больных, которые помогают предотвратить образование пролежней
1995	Начало производства мягких ППУ без использования фреона
1998	Разработка распыляемых систем <i>Bayreg</i> для производства композитов
2000	Создание специальных видов полиола для лаков и клеев
2005	Начало широкого использования полиуретановых композиций в качестве связующего композитов, которые сочетают низкую плотность с высоким модулем упругости. Помимо вошедшего в практику метода напыления, эти системы могут применяться в таких технологиях, как пропитка под давлением, намотка и пултрузия
2012	Создание микроячеистого ППУ марки <i>Baytherm Microcell</i> для еще более эффективной теплоизоляции холодильников Разработка ресурсосберегающей технологии получения компонентов полиуретанов из углекислого газа
2016	Запуск промышленного производства полиолов марки <i>carduon</i> , полученных с использованием диоксида углерода Запуск первого промышленного производства в Азии лопастей ротора из полиуретанового композита для ветроэнергетических установок
2017	Создание и успешное тестирование первого авторемонтного покрытия с отвердителем на основе биосырья

и эластомеров. Практическое применение новых технологий позволит в промышленных масштабах экономить ограниченные ресурсы нефтяного сырья и уменьшить связанные с его переработкой энергозатраты и вредные выбросы.

### Еще более эффективные холодильники

Вспененные ПУ вносят важный вклад в увеличение сроков сохранности пищевых продуктов: около 95 % всех холодильников на планете теплоизолированы с помощью ППУ. Исследования показали, что чем меньше размеры пор в изоляционном материале, тем меньше теплопотери через этот материал и тем выше его изолирующая способность. Новый микроячеистый ППУ марки *Baytherm Microcell*, размеры

пор которого измеряются в микронах, позволяет при прочих равных условиях еще на 10 % повысить термическое сопротивление теплоизоляции холодильников, что означает не только улучшение сохранности продуктов, но и дополнительную экономию энергии и снижение эмиссии CO<sub>2</sub>.

Полученные результаты послужили предпосылкой для разработки концепции обращения с продуктами питания, получившую название «e.goal 2020». Речь в данном случае идет о транспортных решениях, позволяющих экономить пространство, время и – не в последнюю очередь – ресурсы. Для достижения этих целей компания *Covestro* выступила с идеей использования универсального контейнера для всей логистической цепоч-

ки, начиная от заказа товара и его внутреннего распределения в частных хозяйствах и заканчивая утилизацией. Такой контейнер должен иметь эффективную теплоизоляцию на основе ППУ, обеспечиваю-



Фото 3. Универсальный контейнер, который в соответствии с логистической концепцией «e.goal 2020» позволит экономить время, расстояния и ресурсы

щую сохранность таких скоропортящихся товаров, как продукты питания (фото 3).

### Пенополиуретан как строительный материал

Быстрое и экономичное строительство жилья является глобальной проблемой, в решении которой компания Covestro стремится использовать новые подходы. Совместно с промышленными партнерами, правительствами, органами власти и общественностью компания разрабатывает модели экономичных и энергосберегающих жилых домов и осуществляет поддержку реализации конкретных проектов непосредственно на местах. В качестве актуального примера можно назвать так называемый «дом наций» (House of Nations) – многофункциональный дом в г. Бергиш-Гладбахе (Германия), который был спланирован и построен совместными усилиями властей города, французской строительной компании Logelis и компании Covestro (фото 4).



Фото 4. Экономичный «Дом наций», построенный с широким использованием ППУ

Наружная поверхность дома образца имеет сплошную изоляцию из ППУ. Для стен были использованы самонесущие готовые панели, каждая из которых состояла из ППУ-заполнителя и двухстороннего покрытия из тонких цементных слоев. Благодаря высокоэффективной теплоизоляции стеновых панелей общая толщина стен не превышает 160 мм. Пол и подвесные потолки также теплоизолированы с помощью ППУ. Ежегодное потребление энергии на обогрев 1 м<sup>2</sup> по расчетам должно быть менее 15 кВт·ч, что соответствует стандартным требованиям, предъявляемым к пассивным энергосберегающим домам. Каждый из использованных при строительстве крупногабаритных элементов имеет массу немногим более 100 кг. Это позволяет их легко транспортировать и без осложнений монтировать. Все вместе взятое сокращает затраты времени и средств как на подготовку к строительству, так и непосредственно на строительные работы. Одноэтажное многофункциональное здание включает в себя два жилых помещения, кухню и две ванные комнаты. Затраты на его строительство составили порядка 1150 евро/м<sup>2</sup>. Таким образом, сооружение таких зданий является значительно более доступным по сравнению с традиционными методами строительства.

### Полиуретан как связующее композиционных материалов

Создание напыляемых композиций Baypreг и Multitec дает путевку в жизнь новому классу полимерных материалов – полиуретановых композитов, которые сочетают низкую плотность с высокими упругопрочностными свойствами. Высокая реакционная способность отверждающихся полиуретанов оказалась одним из их преимуществ при использовании в качестве связующих композиционных материалов. Помимо вошедшего в практику метода напыления, эти системы могут применяться в таких технологиях, как пропитка под давлением, намотка и пултрузия (более подробно о совместной работе Covestro с KraussMaffei и IKV в области пултрузии профилей из полиуретанового композита см. на с. 22–25 данного номера журнала. – Прим. ред.).

### О современном рынке полиуретанов

За 80 лет существования полиуретанов объемы их производства и потребления постоянно росли, превысив в 1970 г. отметку в 1 млн т, а в 2004 г. – 10 млн т. Эту повышательную тенденцию (несмотря на кризисные явления), наблюдаемую и в последние годы, поддерживают новые достижения в области составов полиуретанов и технологий их переработки в изделия, что открывает новые сферы их применения.

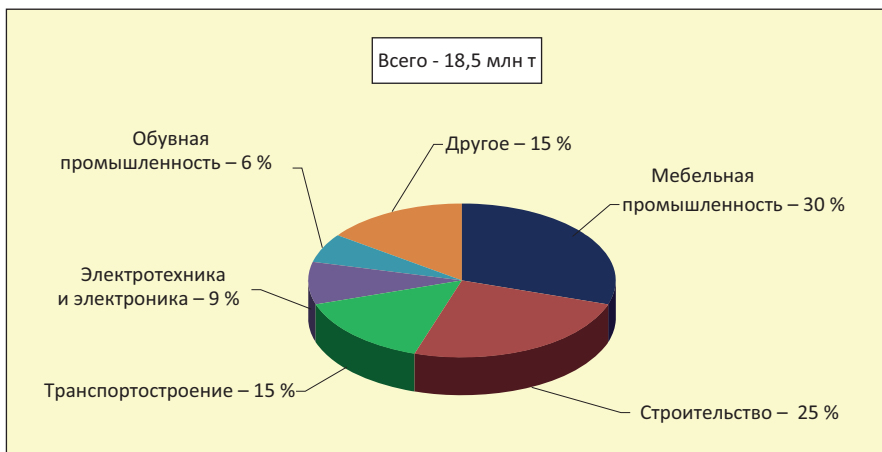


Рис. 1. Структура мирового потребления ПУ в 2016 г. по сферам применения [1]

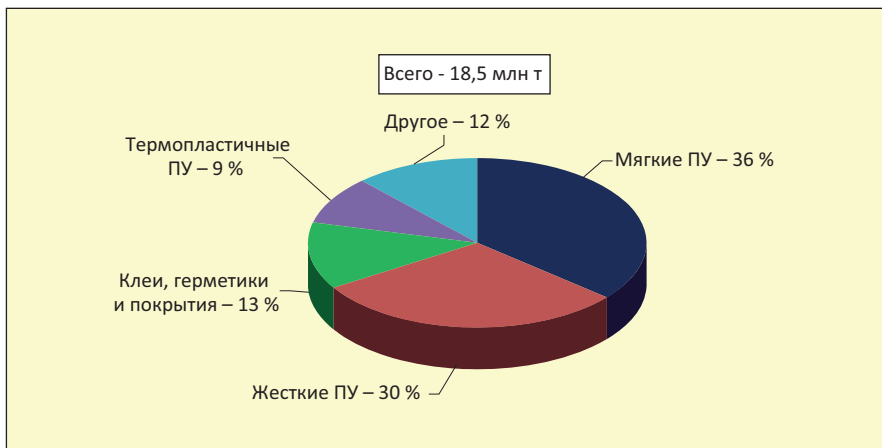


Рис. 2. Видовая структура мирового потребления ПУ в 2016 г. [1]

В 2016 г. мировой объем потребления полиуретанов увеличился на 1 млн т по сравнению с предыдущим годом, достигнув 18,5 млн т. Ожидается, что в ближайшие годы темпы роста спроса на эти полимерные материалы сохранятся на уровне 4 % в год [1]. Этот прогноз подкрепляется продолжающимся развитием рынка полиуретанов в Китае (хотя и не таким интенсивным, как в предыдущие годы) – самого крупного из локальных рынков, составляющего около 40 % от мирового. На страны ЕМЕА

(Европа, Ближний Восток и Африка) приходится примерно треть мирового потребления полиуретана, на регион NAFTA (США, Канада и Мексика) и Латинскую Америку – около 20 %.

Сферы применения полиуретанов за последние годы практически не изменились, и на первом месте здесь находится мебельная промышленность, на которую приходится около 30 % мирового объема потребления (рис. 1). За ней следуют строительство (25 %) и транспортостроение (15 %). Если говорить о видовой

структуре потребления, то наибольшим спросом пользуются мягкие (36 %) и жесткие (30 %) полиуретаны, около 13 % потребляемого в мире полиуретана расходуется на клеи, герметики и покрытия, 9 % приходится на термопластичные ПУ (рис. 2).

Рынки полимерных материалов зависят от состояния экономики соответствующих стран и регионов (табл. 2). Зная такой макроэкономический показатель, как валовой внутренний продукт (ВВП) и тенденции развития потребляющих полимерные материалы отраслей (см. рис. 1), можно в первом приближении оценить состояние и спрогнозировать перспективы развития соответствующих полимерных рынков, включая рынок полиуретанов [2].

Перспективы дальнейшего развития полиуретановой отрасли подкрепляются сведениями о создании или планах создания новых производственных мощностей в различных странах и регионах мира – Китае, Европе, США. В настоящее время на рынок полиуретанов влияют два важных фактора – высокая стоимость сырья и высокий уровень конкуренции между ведущими игроками рынка, в числе которых BASF, Covestro, Huntsman, Mitsui Chemicals, Wanhua и некоторые другие компании.

Идут годы, но с течением времени полиуретаны становятся все более востребованными.

### Литература

1. Loewenich C., Albers R., Brassat L. u. a. Polyurethane (PUR) // Kunststoffe. – 2017. – Nr. 10. – S. 98–105.
2. Austin A., Hicks D. A. Die globale PU-Industrie: Rueckblick auf 2016 und Ausblick auf 2017 // PU Magazin. – 2017. – Nr. 2. – S. 103–105.

Подготовил Р. Б. Пальга

### Polyurethane – Forever Young and Demanded in 80 Years

*Polyurethanes have changed the world which has them to thank for energy-efficient refrigerators, comfortable upholstered furniture, safe car seats, protective coatings and lightweight composites. A versatile class of plastics celebrates its anniversary: 80 years ago, Dr. Otto Bayer discovered polyurethane chemistry virtually by accident. His perseverance and creativity launched the sweeping success of one of the world's most versatile plastics – and the success story is far from over. ■*

Таблица 2. Прирост ВВП по отношению к предыдущему году в некоторых странах и регионах мира в период с 2013 по 2017 г., % (источник: OECD, Goldman Sachs)

Показатель	2013/2012	2014/2013	2015/2014	2016/2015	2017/2016*
Китай	7,7	7,3	6,9	6,7	6,5
Индия	6,4	7,1	7,6	7,4	7,6
США	1,5	2,4	2,6	2,3	2,5
Мексика и Центральная Америка	1,8	2,3	3,0	3,2	3,2
Бразилия	2,5	0,1	-3,9	-3,4	±0
Российская Федерация	1,3	0,6	-3,8	±0	±0
Япония	1,6	-0,1	0,6	0,8	1,0
Страны ЕС	0,2	1,4	1,5	1,7	1,5
Африка	3,4	3,1	3,7	4,0	4,0
<b>Мир</b>	<b>2,3</b>	<b>2,6</b>	<b>2,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>

\* Оценка.