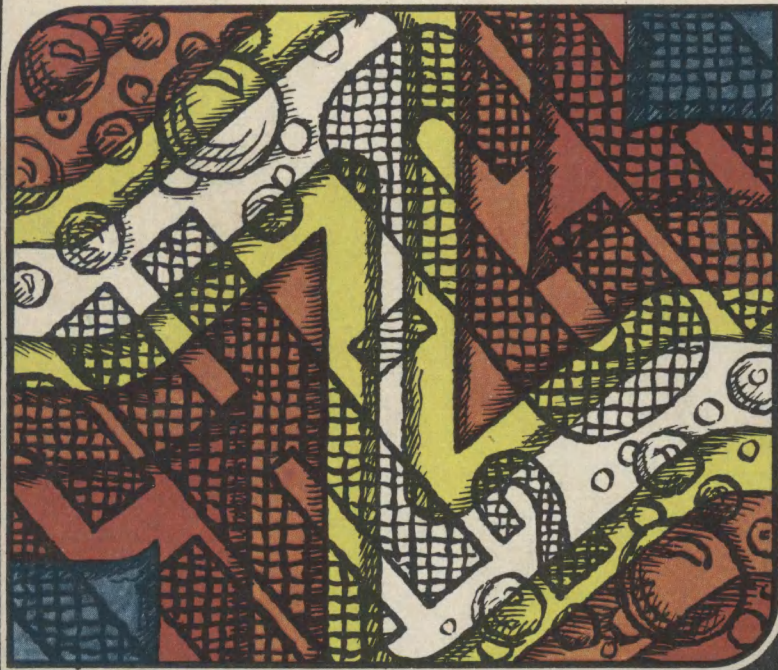


С.А.ВОЛЬФСОН ОТ КОЛБЫ ДО РЕАКТОРА

С.А.ВОЛЬФСОН

# ОТ КОЛБЫ ДО РЕАКТОРА







# ОТ КОЛБЫ ДО РЕАКТОРА

6 П7.55

В71

УДК 541.64+678

**Вольфсон С. А.**

От колбы до реактора. – М.: Химия, 1982. – 224 с., ил.

В книге в простой и занимательной форме говорится о том, как создаются новые полимеры. Автор рассказывает о начале работ в исследовательской лаборатории, о том, как изучают свойства и строение нового полимера, как к ученым подключаются работники опытных установок, конструкторы, проектанты, специалисты по переработке полимеров и те, кто собираются его использовать. В результате совместных усилий работников разных специальностей рождается проект и строится завод для производства полимерного материала. На всем пути от лабораторной установки до завода участников разработки нового полимера подстерегают различные трудности, поэтому у них (участников) должно быть много упорства, воли, настойчивости, знаний и чувства юмора.

Книга предназначена для широкого круга читателей, включая всех тех, кто выбрал или собирается выбрать профессию химика. Интересна она будет и тем, кто имеет дело с пластмассами на работе или дома, поскольку автор уделяет немало внимания истории, настоящему и будущему синтетических полимеров.

224 с., 12 рис.

*Рецензент докт. хим. наук*

*К. С. КАЗАНСКИЙ*

В 1801000000-098 98.82  
050(01)-82

© Издательство «Химия», 1982 г.

---

## Оглавление

Предисловие	4
Глава I. История, настоящее и будущее полимеров	8
Глава II. Что такое технология	46
Глава III. Опытная установка	86
Глава IV. Испытания	138
Глава V. Завод	173
Заключение	223

---

---

## Предисловие

Обычно считают, что основная цель научно-популярной литературы – популярно, т. е. просто, доходчиво объяснить широкому кругу читателей-неспециалистов достижения и проблемы науки и техники, что она прежде всего рассчитана на учащихся старших классов, студентов, молодых рабочих и техников. Это в общем так. Но вот один из друзей автора – талантливый ученый, доктор наук – вполне серьезно заявил, что с новыми для него областями науки и техники он предпочитает знакомиться по ... научно-популярным книгам и журналам. И он не одинок. Так, группа ученых во главе с академиком, ознакомившись однажды в научно-популярном журнале с одним открытием в «чужой» области науки, разработала по аналогии весьма плодотворную идею в своей области. Вообще оказалось, что научно-популярный журнал «Химия и жизнь» читают главным образом профессиональные химики и биологи.

Итак, научно-популярная литература также для ученых и инженеров. Автор склонен объяснить это особенностью развития современной науки и техники. В XVIII в. ученый был в состоянии охватить самые разные области науки своего времени. Инженер Смит из романа Жюль Верна «Таинственный остров» был универсальным специалистом во многих областях техники XIX в. Во второй половине нашего столетия

все возрастающая специализация «загнала» ученых и инженеров в узкие щели, а лавина литературы, густо насыщенной профессиональной терминологией, резко снизила возможность контактов между учеными и инженерами различных специальностей. И в то же время наиболее бурно современная наука стала развиваться именно на стыках различных дисциплин, где особенно необходим выход за пределы узкой специализации. Но нет эрудитов, способных объять необъятное. Как же сделать более доступным гигантский, все возрастающий поток информации, как преодолеть барьеры специальной терминологии? На помощь приходит научно-популярная литература. Она пишется языком, доступным и школьнику, и академику (неспециалисту). В ней нет места узкоспециальным терминам, научному жаргону, трудным математическим выкладкам. Какие же проблемы должны найти в ней наиболее полное освещение? По-видимому, наиболее сложные, комплексные, животрепещущие...

Среди проблем, наиболее актуальных для современной химии, можно назвать проблему создания на основе научных исследований высокоэффективных технологических процессов, получение химических продуктов с заданными свойствами. Это задача огромной сложности, и в ее конкретном решении принимают участие сотни и даже тысячи специалистов. Почему так сложен путь от колбы исследователя, работающего в научной лаборатории, до промышленного реактора? Почему этот путь часто занимает многие годы? Почему очень часто на этом пути встают проблемы не только научного, а и экономического, психологического, стратегического (речь идет о технической политике), экологического характера?

Автору волею судеб пришлось пройти весь этот путь: от научно-исследовательского, проектного института, заводской лаборатории – до опытных установок и промышленного производства. Ему не раз приходилось обсуждать многие из поставленных выше вопросов на страницах научных монографий, научных и научно-популярных журналов. Теперь он попытался ответить на них на страницах этой книги. И хотя название кни-

ги и многое или почти все, что в ней рассказано, можно отнести к любому разделу химии, к любому новому материалу, автор будет касаться химии и технологии полимеров. Большинство примеров, приведенных в книге, взято из опыта работы Кусковского химического завода. В 1980 г. этому заводу исполнилось 100 лет.

По постановлению правительства этот завод преобразован в научно-производственное объединение, специально нацеленное на разработку новых технологических процессов и новых полимерных материалов. В этом и признание былых заслуг, и ответственное задание на будущее.

Своим друзьям и соратникам, трудившимся и продолжающим трудиться на заводе над созданием новых процессов и материалов, автор посвящает эту книгу.



---

# ИСТОРИЯ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ПОЛИМЕРОВ

ПОЛИМЕРЫ И РАЗВИТИЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ	8
КЛАССИФИКАЦИЯ И КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ХИМИИ ПОЛИМЕРОВ	11
ПОЛИМЕРЫ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	18
Спор с оппонентом	19
Пластмассы против железа	21
Производство полимеров в нашей стране	23
Кто создает полимерные материалы?	25
Трижды рожденный	28
Полиэтилен старший и полиэтилен младший	35
БУДУЩЕЕ ПОЛИМЕРОВ	38
Экономия нефти и композиты	39
Как уменьшить расход полимеров	41
Переработка полимеров в изделия	43

## **История, настоящее и будущее полимеров**

### **Полимеры и развитие цивилизации**

Что стало бы с нашей цивилизацией, если бы полимеров не было? Но давайте раньше вспомним о том, что все животные и растительные организмы построены из макромолекул, т. е. из полимеров. Читатель, несомненно, уже знает много о белках, о ДНК, о биополимерах, а поэтому для него не прозвучит неожиданно заключение: без полимеров не было бы и жизни на земле. Из популярных книг по археологии мы знаем, что первобытный человек широко использовал камень, дерево и кость для изготовления орудий труда и оружия. Дерево и кость – органические полимеры. Добавим сюда волокна растений, из которых получались нити и веревки, необходимые для соединения частей орудий, смолы растительного и минерального происхождения. Все это – природные полимеры.

Когда человек начал одеваться, то в дело пошли органические полимеры животного и растительного происхождения – это и леопардовая шкура африканского вождя, и тончайшие льняные покрывала египетских фараонов. Органические полимеры и прежде всего древесина сыграли выдающуюся роль в развитии домостроения, кораблестроения, транспорта и даже авиации.

До середины XIX века человечество вполне обходилось природными полимерными материалами, но затем положение начало изменяться. Во-первых, некоторых природных материа-

лов стало просто не хватать. Во-вторых, развитие техники выявило потребность в материалах с новыми свойствами, т. е. таких, которых в природе не существовало. Их нужно было получать. Но несмотря на то, что некоторые из таких веществ были открыты до их промышленного производства прошли многие и многие годы.

Многочисленные неудачные опыты химиков с давних времен нередко заканчивались тем, что на дне и стенках их колб и реторт оседала смола – т. е. нечто густое, темно-коричневое, вязкое, что далеко не всегда удавалось даже отделить от стекла. – Смола, опять смола, – в негодовании восклицал ученый и выбрасывал испорченную посуду. Однако нехватка лабораторной посуды и разнообразие образующихся смол должны были в конце концов привлечь внимание наиболее любознательных химиков. И вот уже смолистые остатки не выбрасывают с пренебрежением, а старательно выковыривают, нюхают, пробуют на вкус, пытаются анализировать и, иной раз, обнаруживают неизвестный в природе полимер.

Так или иначе, но многие широко известные теперь синтетические полимеры были получены более или менее случайно. Некоторые из них нашли промышленное применение спустя 50 и даже 100 лет. Полистирол был впервые получен в 1839 г., его промышленное производство началось в 1920 г. Честь получения полимера из формальдегида принадлежит А. М. Бутлерову, это произошло в 1859 г. Промышленное производство этого полимерного материала началось в 1960 г.

Вот как описывают, например, открытие полиэтилена. В 30-е годы XX века крупный английский химический концерн «Ай-Си-Ай» осуществлял программу исследований химических реакций под высоким давлением (50-150 МПа). Одна из целей этой научной работы состояла в проверке предположения, согласно которому при повышенном давлении некоторые реакции конденсации (т. е. соединения) молекул должны протекать с высокой скоростью без катализатора.

Случайно одной из первых изученных реакций было взаимодействие этилена с бензальдегидом. Ожидаемого продукта

конденсации в лабораторном автоклаве (реакторе, в котором можно работать при высоком давлении) обнаружено не было. Но иногда (заметьте: иногда!) на стенках сосуда находили белый твердый налет рогоподобного вещества.

Сначала ему не придавали значения, так как согласно данным анализа он не содержал фрагментов бензальдегида. Но в конце концов им заинтересовались и начали анализировать. Очень быстро было установлено, что это полимер этилена, по свойствам схожий с гуттаперчей. (Гуттаперча – один из видов натурального каучука – благодаря высокому электрическому сопротивлению, водонепроницаемости и пластичности, широко применялась для изоляции подводных электрических, телеграфных и телефонных кабелей.)

Фирма, которой был предложен новый материал, как раз специализировалась на изготовлении оболочек кабелей из гуттаперчи. Важно также, что эта фирма располагала необходимым оборудованием. Уже через год стало ясно, что полиэтилену как новому электроизоляционному материалу открывается большое будущее. Теперь концерн «Ай-Си-Ай» мог решиться ассигновать крупные средства на создание уникального производства полимера этилена под давлением 150 МПа, и жизнь полиэтилена началась.

Среди самых первых полимерных материалов, запущенных в промышленное производство, были целлулоид, резина и эбонит. Это были еще не совсем настоящие синтетические продукты – их получали на основе природных полимеров. Целлулоид получали из нитрата целлюлозы и камфоры. Целлулоидные воротнички и манжеты когда-то составили целую эпоху в экипировке мужчин. Ему же обязаны развитием фотография и кинематограф. Заметьте – это были новые области техники, для которых традиционные материалы уже не подходили. Впоследствии целлулоид был вытеснен другими пластиками – уж очень легко он воспламенялся. Теперь даже куклы из него перестали делать, но вот для игры в настольный теннис целлулоид пока оказался незаменимым: шарики для пинг-понга изготавливают именно из него.

Если целлулоид со временем уступил свои позиции, то резина продолжает их укреплять. Получали ее вулканизацией, т.е. нагреванием смеси натурального каучука (природного полимера, получаемого из растений–каучуконосов) с серой, сажей и другими добавками. Сера сшивает цепи каучука друг с другом, придавая материалу прочность. Чем больше взять серы, тем тверже получится продукт. Эбонит–это резина, содержащая около 30% серы, по свойствам на резину совсем не похожая.

Резина была получена впервые Гудьиром в 1839 г. Менее чем за 100 лет, прошедших с тех пор, потребность в резине для автомобилестроения, электротехники, химической промышленности и других областей хозяйственной деятельности настолько возросла, что натурального каучука стало катастрофически не хватать. Специалисты старшего поколения помнят, какие отчаянные попытки делались, чтобы найти новые природные источники каучука. Возлагались надежды на кок-сагыз. Но даже если всю тропическую область планеты засеять каучуконосами, все равно проблему не удалось бы решить. Выход был найден химиками–было создано производство синтетических каучуков (СК). Первый в мире завод СК был пущен в СССР в 1932 г. Но еще значительно раньше–в конце XIX века нужды электротехники вызвали к жизни и фенольные пластики–различные фенопласты, резолы, карболиты. Это уже были настоящие синтетические полимеры, получаемые из фенола и формальдегида. Из них начали прессовать электрические патроны, выключатели, розетки, телефонные аппараты, детали радиоприемников и т.п. Эра синтетических полимеров началась.

### **Классификация и краткие сведения о полимерах**

В русском языке утвердилось множество слов, обозначающих различные полимеры и полимерные материалы. Напомним читателю смысл некоторых терминов, это облегчит дальнейшее чтение. Итак, краткий словарь.

*Полимер* – вещество с очень большой молекулярной массой, построенное из длинных молекул, содержащих многократно повторяющиеся одинаковые звенья мономеров; их часто называют *макромолекулами*.

*Мономер* – вещество с малой молекулярной массой, молекулы которого в определенных условиях способны соединяться друг с другом, образуя полимер.

Большинство мономеров может существовать в твердом, жидком и газообразном состоянии в зависимости от температуры и давления. В обычных условиях это газы или маловязкие жидкости. Стирол, формальдегид, этилен – это все мономеры.

Часть полимеров может быть твердыми или жидкими в зависимости от температуры, часть – только твердыми. В теоретических расчетах иногда оперируют понятием «газообразный полимер», но создать такой невозможно: даже в космическом вакууме полимеры испариться не могут.

Смысл приставок *поли-* и *моно-* легко уловить, даже не вдаваясь в объяснения. В химии полимеров используется даже приставка *стерео-*, правда, не совсем в том смысле, как в радиотехнике. В химии она обозначает определенную пространственную структуру макромолекул.

Специфическими для химии полимеров являются приставки *гомо-*, *со-* и *олиго-*.

*Гомополимер* – это полимер, построенный из молекул только одного мономера. Например, можно сказать, что полиэтилен – это гомополимер этилена.

*Сополимер* – совместный полимер, молекулы которого построены из звеньев двух или нескольких мономеров. Иногда, если мономеров три, то продукт называют *терполимером*. Сополимеры не надо путать со смесями или сплавами гомополимеров.

*Олигомер* – это нечто среднее между полимером и мономером. Молекулы олигомера могут быть в 10-100 раз длиннее, чем молекулы мономера, но и они при определенных условиях способны соединяться друг с другом, образуя полимеры. Обычно олигомеры жидкие, но бывают и твердые.

Расплавленные полимеры текут как сосновая смола или вар, но отнюдь не как вода. Расплавленный полимер не вытечет из стакана, если последний перевернуть вверх дном. Жидкий олигомер течет как вода.

Сравнительно новым является термин *биополимер*. Это дань уважения бурно развивающимся биологическим дисциплинам (вспомните биофизику, биохимию, биокибернетику). Именно из биополимеров построены все живые организмы. Древесина, хлопок, шерсть, кожа – все это биополимеры.

Некоторые твердые полимеры при нагревании ведут себя подобно металлам. Если такой полимер нагреть, то он начнет размягчаться, станет эластичным, тянущимся как резина. Течь как вода такой полимер не будет, но продавливать, передавливать его можно; он становится пластичным. При охлаждении он вновь затвердеет.

Подобные полимеры получили название *термопластичных* или сокращенно – *термопластов*. Эти полимеры построены из длинных нитевидных макромолекул. Температура размягчения термопластов находится между 100 и 250°C в зависимости от химического состава. Это значительно ниже, чем у большинства металлов и сплавов.

Нитевидные макромолекулы называют *линейными* макромолекулами. А если у макромолекулы есть боковые ответвления – это *разветвленные* макромолекулы.

При определенных условиях отдельные макромолекулы могут соединяться. Полимер, образованный из таких молекул, называется *сшитым*, *сетчатым* или *трехмерным*. Такой полимер уже не расплавляется при нагревании, а может только размягчаться.

Предоставляем читателям самим сообразить, что имеется в виду, когда химики говорят о *редко-*, *средне-* и *густосшитых* полимерах.

Нетрудно догадаться и о закономерностях в изменении свойств полимеров различного строения. Редкосшитые полимеры должны быть более устойчивыми к действию высокой температуры, чем линейные. Густосшитый полимер должен

быть твердым, жестким и неплавким. Эти неплавкие полимеры получили не вполне удачное название *терморепродуктивных*, или *реактопластов*.

Деление синтетических полимеров на термопласты и реактопласты обусловлено особенностями формования изделий из этих полимеров. Термопласты можно расплавить при нагревании, а из жидкого расплава формировать изделия, будь-то банки, бутылки, коробки или волокна, трубы, листы, пленки.

Реактопласты из-за сетчатой структуры приходится перерабатывать иным путем. В форму заливают или засыпают полуфабрикат – линейный полимер или олигомер, необходимые компоненты. Затем при нагревании и под действием повышенного давления (а в некоторых случаях на воздухе при обычных температурах) протекает реакция сшивания макромолекул, которую часто называют отверждением. Таким образом, реактопласт образуется непосредственно в форме. Этот процесс может занимать от нескольких минут до многих часов.

В технике и повседневной жизни мы сталкиваемся с различными названиями, так или иначе связанными с полимерами: пластик, пластмасса, смола, резина, эластик, эластомер, полимерное покрытие, компаунд, заменитель, суррогат, искусственный мех, кожа, кожзаменитель, искусственные и синтетические волокна, вискоза, нейлон, болонья, лавсан, фенопласт, аминопласт, стеклопластик, полиэтилен, полистирол и т.п. Часто это все называют синтетикой, противопоставляя тем самым все эти материалы традиционным природным материалам.

Лавина звучных и малопонятных слов обрушивается на современного человека дома и на работе, напоминая о том, что химизация народного хозяйства идет полным ходом.

Оглянитесь вокруг: вы одеты в синтетику, пишете пластиковой авторучкой, сидите за столом, покрытым пластиком, на кресле из искусственной кожи. Пластмассовый абажур бросает мягкие блики на синтетический ковер, гарнитур из древесностружечных плит, пропитанных смолой и покрытых полимерным лаком...



Попробуем расшифровать хотя бы некоторые из приведенных выше слов.

*Смола* – это слово старинное. Пока не появилось слово пластик, искусственной смолой называли все синтетические полимеры. В английском языке и сейчас все промышленные полимерные материалы называются смолами. Остался этот термин и в нашей промышленности. Так называют большинство полимеров, из которых получают реактопласты. Например, эпоксидная смола, полиэфирная и т. п.

*Резина* – по латыни это смола. В русском языке так стали называть только определенный тип полимерного материала – вулканизованную смесь каучука с серой и другими добавками.

*Суррогат* – это слово тоже пришло из латыни. Оно означает заменитель чего-нибудь, но в русском языке это слово приобрело какой-то неприятный оттенок. Если говорят: суррогат кофе, то всякий понимает, что речь идет о неэквивалентной замене. Поскольку синтетические полимеры часто выступают как заменители природных материалов, то применительно к ним слово суррогат сразу же указывает на низкое качество полимера.

*Заменитель* – этому слову тоже не повезло, хотя звучит оно несколько благороднее, чем его латинский эквивалент. Если сказать, что автомобиль – заменитель лошади, владелец автомобиля едва ли сочтет себя обиженным. Но если владелице модного пальто сказать, что оно из кожзаменителя, то едва ли она сочтет это комплиментом.

*Пластическая масса (пластмасса), пластик* – казалось бы это новые слова, сравнительно недавно появившиеся в нашем языке, но слово пластик в словаре Даля есть. Расшифровывается оно как пластический художник, а пластичность – это жизненная полнота и круглота, изящная округлость художественной вещи. На сухом языке современной техники пластичность – это свойство материала изменять форму при внешнем воздействии, а пластик, пластмасса – синтетические полимеры с различными добавками, из которых формуют изделия, способные сохранять форму при различных нагрузках.

Таким образом, понятие *полимер* не идентично понятию *пластик*. В так называемых наполненных пластмассах может быть 50-80% различных минеральных веществ, а полимер будет выполнять роль связующего.

*Пенопласт* – пластмасса, содержащая газопузыри. Название объединяет целое семейство различных вспененных пластмасс. Среди них есть жесткие и твердые, есть эластичные. Например, искусственную кожу сейчас делают главным образом из вспененного полиуретана. Все пенопласты – чрезвычайно легкие материалы.

*Стеклопластик* – очевидно, что в этом материале есть стекло. Его в виде волокон, жгутов, матов, коротких волокон используют для упрочнения пластмасс. Это опять целое семейство, так как связующим полимером могут быть эпоксидные и полиэфирные смолы, полиамиды, полипропилен и многие другие.

Сейчас в технике появились пластмассы, в которых роль усиливающих элементов вместо стеклянных волокон играют углеродные, борные волокна. Их называют *углепластиковыми*, *боропластиковыми*.

Какая разница в терминах *синтетический* и *искусственный*?

Специалисты по химическим волокнам договорились прилагать термин *искусственный* к волокнам природного происхождения, подвергнутым химической обработке, *синтетическими* – называть волокна, полученные из синтетических полимеров. Теперь все очень просто: шелк, шерсть, хлопок, лен – натуральные волокна; вискоза – искусственное волокно, а *наилон*, *лавсан*, *пан* (полиакрилонитрил) – синтетические.

*Эластомер* – это общее химическое название группы синтетических и природных полимеров, которые легко растягиваются, а затем возвращаются в исходное состояние, т.е. обладают эластичностью. Сюда относят каучуки и многие другие полимеры. Кстати, в промышленности обычно все полимеры делят на три группы – *эластомеры*, *пластики* и *волокна*, хотя один и тот же полимер может образовывать все три типа материалов. Но такова традиция.

*Эластик* – фирменное название текстильного материала из синтетических волокон, обладающего хорошей эластичностью.

*Компаунд* – английское слово, означающее составной, сложный. Используется в разных областях техники; это и паровая машина двойного расширения, и динамомашинка, и изоляционный материал в электротехнике. В технологии полимеров так называют сплавленные смеси двух или большего числа полимеров, сплавы.

Звучным фирменным названиям некоторых полимеров удалось потеснить строгие научные термины даже в устах специалистов.

*Найлон* (или нейлон) – знают все. Не все знают, что это торговая марка американской фирмы «Дюпон». Так был назван один из волокнообразующих полимеров из группы полиамидов, впервые разработанной этой фирмой.

*Лавсан* – это удачное словообразование отечественного происхождения означает торговое название волокнообразующего полиэфира – полиэтилентерефталата. Импортное фирменное название уступает по звучности – терилон.

*Фторопласт* – хорошо знают все, кто имел дело с уплотнением трубопроводов, прокладками, химически стойкими материалами. В состав его молекул действительно входит фтор, придающий полимеру замечательную стойкость. А вообще-то, это полностью фторированный полиэтилен. За границей его часто называют тефлон.

Благодаря газетам и журналам быстрое распространение получает новое слово – *норпласт*. Придумал его академик Н. С. Ениколопов для обозначения нового типа пластмасс, в которых частицы минеральных наполнителей вводят на стадии полимеризации, т.е. образования полимеров. Раньше пластмассы, содержащие наполнители, называли просто наполненными пластмассами. Сейчас, когда роль и значение наполненных пластмасс стали быстро возрастать, появился новый собирательный термин: полимерные *композиционные материалы, композиты*. Сюда относятся и стеклопластики, и пенопласты, и слоистые пластики, и норпласты.

Болонья, орлон, дакрон, стирофлекс, дельрин, тефлон, макролон, стирекс, лексан, локтайт, поролон – все это фирменные названия различных полимерных материалов. Существуют специальные справочники, где эти названия переводятся на простой химический язык.

А вот, если бы не было изобретено слово «пентон», то пришлось бы его изобретать. Согласитесь, что химическое название полимера трудно произносимо – поли-3, 3-бисхлорметилциклооксабутан. Неисчерпаемая тема для газетных и журнальных страниц юмора!

Некоторые более простые химические названия «пошли в народ» без изменений – полиэтилен, полистирол. Другие упростились в быту: капрон, эпоксидка, хлорвинил – не очень грамотно, но понятно и химикам, и продавцам магазинов.

Распознать из какого полимера сделано то или иное изделие нелегко даже специалистам. Существует особая область анализа – идентификация полимеров. Ситуация осложняется тем, что в большинстве случаев для получения изделий используют не чистые полимеры, а *композиции*, включающие кроме самого полимера различные добавки – красители, стабилизаторы, мягчители, наполнители и т.д. Так что не стоит обижаться на знакомого химика, если он не берется починить сломанную ручку импортного зонтика.

## Полимеры в современном мире

В начале века во всем мире производилось всего несколько тысяч тонн пластмасс. По сравнению с другими конструкционными материалами – металлами, деревом, цементом, стеклом – это была капля в море.

Сколько полимеров производится сейчас? Полагаю, что для многих читателей ответ будет неожиданным: промышленно развитые страны ежегодно производят синтетических полимеров по объему значительно больше, чем выплавляют стали, не говоря уже об алюминии, меди и всех цветных металлах, вместе взятых.

Итак, буквально на наших глазах произошла еще одна техническая революция – металлы, эти верные спутники человека на протяжении пяти тысячелетий, уступают лидирующее положение полимерным материалам.

Остается объяснить, почему мы написали «по объему». Дело в том, что плотность синтетических полимеров значительно ниже, чем плотность металлов. Самый легкий металл – алюминий – имеет плотность  $2,3 \text{ г/см}^3$ , железо –  $7,8 \text{ г/см}^3$ . Плотность большинства полимеров колеблется от  $0,9 \text{ г/см}^3$  (плотность полипропилена) до  $1,4 \text{ г/см}^3$  (плотность поливинилхлорида). Следовательно, при равной массе объем полимеров примерно в 5-7 раз больше объема стали. Выпуск тяжелых материалов по традиции измеряют в тоннах, но в данном случае правильнее сравнивать объемы. Дело в том, что при изготовлении деталей машин, устройств, приборов конструкторы почти всегда стремятся к уменьшению массы при увеличении прочности и улучшении других показателей. А прочность определяется своими материалами и площадью, на которую прилагается нагрузка. Значит, при сравнении деталей одинакового размера, изготовленных из различных материалов, постоянным должен быть объем, а плотность и масса будут изменяться. Есть даже такой показатель – прочность в пересчете на единицу объема материала.

Итак, если сравнивать по массе, то металлов выплавляется, конечно, больше, но если сравнивать объемы, то эра металлов, похоже, заканчивается буквально на наших глазах; начинается эра полимеров. При этом тенденция развития такова, что с каждым годом прирост выпуска полимеров происходит с постоянной скоростью, а выпуск металлов в развитых странах фактически стабилизировался.

### **Спор с оппонентом**

– Хорошо, – скажет критически настроенный читатель, – полимеров выпускают много, собираются выпускать еще больше, но какой в этом смысл? Шарик для пинг-понга – это неплохо

без резины не обойтись, но все остальное... Отцы, деды мебель делали из дерева, а теперь, вот, из древесно-стружечных плит. И от воды размокают, и гвоздь в них не вобьешь – труха. За синтетикой сначала в очередях толпились, как же, гладить не надо – брюки, рубашку выстирал под краном, высушил на вешалке и надевай. Женщины радовались – носки, чулки, наконец, не надо каждый день штопать. Но так было сначала, а теперь все мечтают о натуральном. Из этой синтетики искры сыплются, от нее у некоторых ноги ломит, под ней тело не дышит. Может быть вовсе не надо ее в таких количествах? Железо – оно и есть железо, если поставишь, «железно» будет стоять. А пластмасса возьмет да и треснет. Вот жена щетки для посуды только и успевает покупать...

Да, ответить на все эти вопросы не так-то просто. Действительно, в нашем быту пластмассы еще часто выступают в роли «суррогатов», отсюда недоумение и обиды потребителей. Но давайте разберемся. Вот дерево – изумительное творение живой природы! Но его катастрофически не хватает. Его и предки жгли и корчевали, и современники изводить не перестают. Деловой древесины все меньше и меньше, а во многих странах вообще нет. А потребности все растут и растут. Только чтобы швейную промышленность обеспечить шпулями, пришлось бы спилить весь бук в наших лесах.

Приходится изобретать пластмассы «под дерево» и надо признать, что химики научились изготавливать такие подделки, что с расстояния в один метр (пока не возьмешь в руки) и не догадаешься, что это пластик.

Или возьмем проблему волокон. Натурального волокна просто не хватает на 4 миллиарда человек, да и площадей свободных нет, где можно было бы вырастить требуемое количество хлопка, льна. Если бы не синтетика, то не ясно, во что бы мы сегодня одевались. А натуральная кожа, сколько ее? Если разделить на всех, то получится, наверное, по клочку. Одеть всех в кожаные пальто да дубленки даже теоретически невозможно.

Или ящики для овощей и фруктов. Кто с горечью не видел, как бессмысленно сжигают горы этих ящиков. Пластмассовый ящик из полиэтилена или полипропилена служит 5 лет. Он несравненно легче, удобнее, в нем лучше сохраняются фрукты. Экономические преимущества пластмассовой тары огромны. Их транспортирование, загрузка, разгрузка легко автоматизируются. А это значит, что исключается тяжелый ручной труд, возрастает производительность труда.

В нашей стране мелиораторы осушают или, наоборот, обводняют бескрайние просторы земель. Основное их «оружие» – короткие тяжелые керамические трубы, из отрезков которых вручную, в полевых условиях собираются сотни, тысячи километров дренажных труб. Сравните с «пластмассовой» технологией: по полю движется трактор, прокапывая канаву. За ним грузовик с установкой для непрерывного получения гофрированной полиэтиленовой трубы. Готовая труба ложится в канаву. Фантастика? Нет, реальность.

– Согласен, – говорит противник синтетики, – про дерево, дренаж, одежду убедительно, но железо-то зачем заменять?

### **Пластмассы против железа**

У пластмасс есть несколько важных преимуществ:

1) пластмассы намного легче железа; при создании новых самолетов, автомобилей, кораблей, машин и механизмов, бытовых приборов и множества других конструкций это крайне важно: возрастают грузоподъемность, производительность, мощность, экономится топливо;

2) пластмассы не ржавеют, а из-за коррозии железа и стали, чуть ли не одна треть ежегодно добываемого металла идет на замену проржавевшего;

3) трущиеся детали из пластмасс работают гораздо бесшумнее стальных, требуют меньше или не требуют совсем смазочных материалов, а это опять экономия энергии;

4) существует еще одна причина, пожалуй, наиболее важная: практически везде, в любой отрасли промышленности, где

для производства различных изделий применяют синтетические полимеры, они обеспечивают рост производительности труда, позволяют снизить энергетические и материальные затраты.

Поясним это на примере. Радуют глаз резные изделия из дерева, рамы для картин и зеркал, инкрустированная мебель. Но как сложно и дорого их изготовить – ручная работа, тонкая, кропотливая. В наше время, когда рабочих рук не хватает и ручной труд резко вздорожал, резьба по дереву – достояние антикваров и любителей, которые могут посвятить этому свободное время.

А вот как штампуется «резьба по дереву» из пластмассы. Сырье – порошок – поступает по транспортеру в формующую машину. Нажатие кнопки – порция материала расплавляется и выдавливается в раздвижную форму, 30 секунд – и из машины выскакивает темно-коричневая благородной формы рама для картины, готовая к употреблению. Всего за 30 секунд, и заметьте, что для управления формующей машиной не нужно быть столяром-краснодеревщиком: научить этому вчерашнюю школьницу можно за 2 часа.

Секрет успехов полимеров в соревновании с традиционными материалами именно в этом. Деталь сложнейшей формы, над изготовлением которой из металла трудилась дюжина высококвалифицированных токарей, фрезеровщиков, шабровщиков и других специалистов, может быть отлита из пластмассы за 30–60 секунд. И при этом совсем нет потерь в виде стружки и опилок (металла теряется половина).

Нет, конструкторы, механики, токари и фрезеровщики без работы не останутся, воевать против пластмасс, как разрушителям машин в Англии XVIII века, им не придется. Но задача у них будет другая – конструировать и создавать все новые машины и формы для отливки пластмассовых изделий. С помощью одной такой формы можно отлить тысячи, десятки тысяч деталей.

Все же следует успокоить тех, кто озабочен судьбой металлов. Полностью их пластмассам не вытеснить никогда, но эко-



номически обоснованное разделение обязанностей между металлами и пластмассами должно наступить в ближайшие одно-два десятилетия.

### **Производство полимеров в нашей стране**

Каково положение с полимерами в нашей стране? Производством полимеров заняты два министерства – химической и нефтехимической промышленности. Оборудование изготовляет третье – химического машиностроения. Выпуск пластмасс, химических волокон, синтетических лаков, красок, клеев непрерывно возрастает быстрыми темпами. Промышленность осваивает новые производства, новые виды материалов. Лишь в последние годы вступили в строй гигантские (по масштабам химической промышленности) заводы по производству полиэтилена в Буденновске, полистирола в Шевченко, полипропилена в Томске. За прошедшую пятилетку выпуск синтетических волокон увеличился почти вдвое по сравнению с предыдущей (искусственных – на 20%).

Среди важнейших видов продукции нефтехимии значительное развитие получило производство каучуков, абсолютный прирост которых за минувшее пятилетие превысил их прирост в США. И что особенно важно, прирост за счет преимущественного увеличения изопренового каучука – заменителя натурального, что позволило основательно сократить расходы валюты, связанные с импортом натурального каучука. Натуральный каучук все же нужен для некоторых целей, так же как и другие специальные сорта синтетических каучуков.

Итак, отечественная промышленность синтетических полимеров развивается быстрыми темпами. Увеличивается количество, улучшается качество. Например, в прошедшей пятилетке достигнут существенный сдвиг в структуре производства пластмасс. Раньше перевес был на стороне прессуемых материалов на основе феноло- и мочевиноформальдегидных смол и других реактопластов. Теперь более 50% выпускаемых пластмасс – тер-

мопласты, которые перерабатываются по более прогрессивной технологии – литьем и экструзией.

Но все познается в сравнении. Каковы потребности в синтетических полимерах в нашей стране, сколько их выпускается за рубежом? Не будем утомлять читателя обилием цифр и ссылками на источники. Скажем так – с каучуком и резиной положение удовлетворительное. Эта отрасль полимерной промышленности у нас развита лучше других. С химическими волокнами ситуация хуже. Их пока не хватает. Практически все виды пластмасс дефицитны, экономисты делят их на просто и остродефицитные. По суммарному выпуску пластмасс мы пока отстаем от США.

Неравномерность развития промышленности связана со многими причинами. Каучук и резина – жизненно необходимы для народного хозяйства. Их развитию уделялось особое внимание. Нужда в химических волокнах тоже для всех очевидна. А вот с пластмассами дело сложнее. Как мы уже отмечали, использование пластмасс вместо металлов, дерева и других традиционных материалов часто экономически эффективно, но отнюдь не очевидно. Другими словами, для того чтобы использовать новые материалы, нужно каждый раз проводить специальные исследовательские работы, отрешиться от многих консервативных представлений.

Любопытно, что на трудности, связанные с внедрением пластмасс вместо металлов, жалуются специалисты во всем мире. Например, в США недавно был опубликован отчет о дискуссии, которую вели химики и инженеры. Речь шла о применении в химическом машиностроении стеклопластиков на основе полиэфирных смол вместо сталей и сплавов. Расчеты и эксперименты показали, что экономический эффект от замены металлов будет составлять многие миллионы долларов. Но инженеры-конструкторы выдвинули ряд возражений:

- 1) опыта конструирования аппаратов из стеклопластика у них недостаточно;
- 2) из-за ошибок при проектировании, изготовлении и монтаже нового оборудования возрастает риск;
- 3) при создании каждого нового типа аппарата нужны дли-

тельные и дорогостоящие эксперименты, так как стандартных методов расчета для стеклопластиков нет, а свойства их могут колебаться значительно больше, чем у металлов.

Потенциальные потребители пластмасс должны хорошо разбираться в их свойствах, умело и разумно их применять. Важное место в пропаганде новых материалов отводится рекламе, а она у нас часто не на высоте.

Вспомните, несколько лет назад на полиэтиленовую пленку смотрели как на диковинку. Зачем она и для чего? А теперь она буквально всем необходима: и продукты сохранять, и одежду упаковать, и огород укрыть, и тетрадки завернуть. За последнее пятилетие производство этой пленки у нас в стране возросло раза в три, но ее все равно не хватает.

Эффективность полимерных материалов хорошо оценили строители. Их потребности возросли в несколько раз: тут и вспененные материалы для теплоизоляции, и трубы, и покрытие для полов, и различные декоративные облицовочные материалы.

Громадны потребности современного сельского хозяйства в полимерных трубах и различных пленках. В недавнем решении партии и правительства по продовольственной программе важное место отводится использованию современных полимерных материалов. Они необходимы для самых различных целей: для сохранения влаги в почве, для создания обогреваемых полов в коровниках, для хранения сена и удобрений, для упаковки продуктов и т. д.

### **Кто создает полимерные материалы?**

Кто же занимается созданием и выпуском полимерных материалов? Получением, исследованием свойств, переработкой полимеров занято несколько десятков тысяч ученых и инженеров, работающих в академических институтах, отраслевых НИИ и высших учебных заведениях. Целая армия инженеров и конструкторов в машиностроении, строительстве и других областях народного хозяйства занята вопросами применения полимеров.

Сравним еще раз полимеры с металлами. Какие металлы используются в технике? В последнее время технический прогресс вовлек в дело многие элементы таблицы Менделеева, которые находились в резерве. И все же: железо, медь, алюминий, цинк, олово, свинец, никель, хром, кобальт, титан, молибден, вольфрам, цирконий, тантал, ну еще золото, серебро, платина, рубидий, цезий. Можно учесть еще редкоземельные – и все-таки наберется не более 30–40 разных металлов.

Полимеров используется в технике многие сотни и даже тысячи, а в научных лабораториях синтезированы десятки тысяч. Можно смело сказать, что на каждого работника полимерной промышленности приходится по одному полимеру. Однако только малая часть из синтезированных полимеров освоена промышленностью, остальные «осели» в научных статьях, справочниках, отчетах и диссертациях. Но и того, что выпускает промышленность, вполне достаточно, чтобы затруднить специалистам выбор нужного материала.

Можно полагать, что все металлы уже открыты. А вот полимерам конца не видно – достаточно изменить последовательность звеньев в макромолекулах, и свойства материала изменятся. Лаборатории синтеза полимеров выдают «на гора» все новую и новую продукцию.

Для того чтобы отобрать практически ценные полимеры, нужно тщательно изучить их физические, химические и механические свойства. Этим заняты ученые физико-химики, реологи (специалисты по течению материалов), механики. Закономерности синтеза полимеров, методы регулирования структуры макромолекул изучают специалисты по кинетике\* и синтезу. Непосредственно структуру полимера изучают специалисты по структуре. Это тоже физико-химики, вооруженные электронными микроскопами, аппаратурой для рентгеновского и спек-

---

\* Кинетика – раздел физической химии, изучающий скорости химических реакций и механизмы, по которым они протекают.

трального анализа методами измерения размеров макромолекул и т. д.

Вообще неспециалистам в наше время приходится трудно: как разобраться во всех этих нюансах?—химики, физики, физико-химики, химико-физики (есть и такая специальность—химическая физика). Один крупный ученый когда-то пошутил, что химики работают с чистыми веществами, но плохими методами; физики имеют очень хорошие методы, но грязные вещества; у физико-химиков плохие методы и грязные вещества.

В этой старой шутке есть доля истины; физико-химики обычно сами полимеры не получают, а просят образцы у химиков-синтетиков. Новые типы аппаратуры для анализа и методы анализа чаще разрабатывают физики. Механические свойства полимеров, т. е. прочность, жесткость, твердость,—изучают специалисты по механике. Обычно они не очень сильны в химии, так же как, впрочем, и реологи. Закономерности течения полимеров нужно знать, чтобы рассчитать режимы формования изделий из них.

После того как свойства, структура и особенности образования полимеров изучены и получены приемлемые результаты, за дело берутся инженеры—технологи, механики, конструкторы, проектанты, специалисты по автоматике. Их совместные усилия необходимы, чтобы данные, полученные в лаборатории, воплотить в промышленные установки, способные производить тысячи тонн продукции. А ведь до того, как пущено промышленное производство, новый продукт нужно всесторонне испытать уже не в виде лабораторных образцов, а в виде реальных изделий, получить отзывы потребителей, произвести подсчеты экономической эффективности. Именно экономика определяет в конечном счете судьбу нового детища химиков: какой эффект даст применение нового полимера в народном хозяйстве, каковы будут расходы на организацию производства, достаточно ли будет сырья и т. п.

— Ну хорошо,—скажет внимательный читатель,—создать новый полимер—задача не из простых, в одиночку этого не сделаешь. Но почему же так много новых полимеров, разрабо-

таных учеными, не используется на практике? Может быть в народный контроль нужно обратиться или в газету написать? Вот ведь пишут, что многие полезные изобретения медленно внедряются, и народному хозяйству от этого большой ущерб. А тут тысячи полимеров пропадают зря.

И снова приходится признать, что вопрос не из простых. Да, многие новые полимеры очень медленно внедряются в народное хозяйство из-за узковедомственного подхода, консерватизма и других причин. Об этом мы еще будем говорить. Но многие полимеры не выдерживают проверки на эффективность. Это означает, что или свойства хуже, чем у существующих, или они дороже при одинаковых свойствах, или с сырьем затруднения. Однако в технике возникают все новые и новые задачи, и для полимеров-«резервистов» всегда существует надежда, что настанет их час. Удивительна в этом отношении история полиформальдегида – одного из забытых и вновь открытых полимеров, о которой стоит рассказать подробнее.

### **Трижды рожденный**

Формальдегид – это газ с резким раздражающим запахом. С чистым формальдегидом имеют дело только химики, с его водным раствором – формалином – медики, биологи и многие другие. Формальдегид – очень важное сырье в химической промышленности. Линейный полимер формальдегида образуется сам по себе при хранении формалина при пониженной температуре. Поэтому и открыт он был давно, одним из первых. Затем на протяжении многих лет усилия химиков были в основном направлены на то, чтобы воспрепятствовать образованию полимера, который является нежелательной примесью в химических реакциях с участием формальдегида.

Когда началась эра увлечения синтетическими полимерами, многие пытались найти применение этому самопроизвольно образующемуся полимеру. Но увы, как некий сказочный дар, полимер исчезал при нагревании, т. е. выражаясь химическим

языком, разлагался с образованием чистого мономера. Ни о каких изделиях из этого заколдованного полимера не могло быть и речи! Стоило поместить его в форму и нагреть, как газообразный мономер демонстрировал свое слезоточивое действие, и незадачливому экспериментатору приходилось спасаться бегством.

Для укрощения бурного нрава формальдегида его сополимеризовали с другими соединениями. Так родились широко известные старейшие синтетические смолы: фенолоформальдегидная (из нее делали выключатели, розетки, телефонные аппараты) и мочевино-формальдегидная (клей для фанеры, дерева и др.).

Полиформальдегид – линейный полимер формальдегида – был впервые описан А. М. Бутлеровым в середине прошлого века. К 20-м годам нашего века немного, наверное, оставалось энтузиастов, надеявшихся получить устойчивый и на что-то пригодный материал из формальдегида.

Вторым рождением полимер обязан немецкому химику Штаудингеру. Он первым предположил, что полимерные молекулы представляют собой нитевидные огромные макромолекулы с концевыми группами, способными участвовать в обычных химических реакциях. Синтезируя полиформальдегиды с различной длиной полимерных цепей, он показал, как изменяются свойства материала. Он же вместе с учениками нашел химические методы повышения стабильности материала, обрабатывая различными реагентами, взаимодействующими с концевыми группами.

Казалось бы, после фундаментальных работ Штаудингера оставалось только разработать технологию и начать выпуск нового материала. Но уж очень сложными показались инженерам операции с чистым формальдегидом. Ведь 30-е годы были эпохой бурного расцвета полимеров, новые материалы синтезировали, изучали и внедряли в производство. И с капризным полимером формальдегида никто не хотел иметь дела – зачем, когда были созданы такие ценнейшие продукты, как полиэфиры, полиэтилен и другие полимеры олефинов. Но работы

Штаудингера не были забыты, в конце концов все химики приняли его гипотезу строения макромолекул.

Прошло еще 30 лет. В 1958 г. один известный ученый, работавший в области полиэфиров (а полимер формальдегида принадлежит именно к этой группе, так как его макромолекулы содержат повторяющуюся эфирную связь), опубликовал обзор последних научных достижений в этой области. По поводу линейного полимера формальдегида он писал, что со времен Штаудингера никаких серьезных успехов в изучении этого полимера добиться не удалось, и, по-видимому, практического интереса этот продукт не представляет.

А уже через год американская фирма «Дюпон» объявила о начале промышленного производства линейного полимера формальдегида, обладающего ценнейшим комплексом свойств. Это известие произвело сенсацию среди ученых и инженеров. Значит фирме «Дюпон» удалось решить массу научных и технических задач, получить стабильный материал. Фирма не скупилась на рекламу: 25 миллионов долларов на разработку, 20 лет секретных научных исследований, выдающиеся свойства, материал (его фирменное название – дельрин) способен конкурировать с металлами.

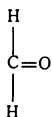
Во многих странах ученые и инженеры бросились изучать патенты фирмы «Дюпон», анализировать образцы дельрина, пытаясь разгадать тайну полиформальдегида.

Можно себе представить разочарование сотрудников Штаудингера. Ведь именно они внесли основной вклад в разработку химии полиформальдегида, а так называемый коммерческий эффект достался американцам. В конце концов ученикам Штаудингера во главе с Керном (главный редактор известного журнала «Макромолекулярная химия») и Яаксом (трагически погибшим впоследствии в Гималаях) по заказу крупного западногерманского концерна «Хёхст», объединившего свои усилия с американской фирмой «Силаниз», удалось разработать конкурирующий материал и нанести контрудар фирме «Дюпон».

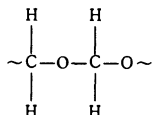
Дело в том, что химия формальдегида весьма многообразна и представляет собой поистине богатейшую кладовую для



пытливого исследователя. Сам формальдегид имеет структуру



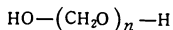
Полимер образует *полиацетальную* структуру



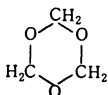
В водных растворах формальдегид присутствует в виде *метиленгликоля*



который легко превращается в *полиметиленгликоли* при охлаждении



С 1885 г. известно циклическое производное формальдегида – *триоксан*, легко образующееся в водном растворе (формалине) в кислой среде:



В отличие от «холерически-экспансивного» формальдегида этот «родственник» обладает «спокойным меланхолическим темпераментом». Его применяют в качестве растворителя для красок и лаков.

В 1922 г. Хеммик и Бери сообщили о том, что при перегонке очищенного триоксана остается твердое вещество, осторожно названное ими *ε-полиоксиметиленом* (этим веществом интересовался еще Штаудингер). Через несколько лет другой немецкий химик Кольшюттер сообщил, что при разложении низкомолекулярного полиметиленгликоля в присутствии серной кислоты образуются волокнистые кристаллы триоксана, «которые в ходе реакции претерпевают некоторое изменение» и превращаются в термостойкие (относительно!) – полиформальдегидные волокна.

Сборная команда «Хёхст» – «Силаниз» во главе с Керном и Яаксом пустилась по следу, и уже в 1960 г. на симпозиуме по макромолекулярной химии в Москве Яакс сообщил о возможности полимеризации триоксана с раскрытием цикла и получением высокомолекулярного полиформальдегида. Параллельно полным ходом шли технологические разработки, и вскоре (намного быстрее, чем рассчитывал «Дюпон») на мировом рынке появился новый материал – целкон – сополимер триоксана, содержащий всего 2,5% других звеньев, необходимых для стабилизации макромолекул.

Пока одни ученые доказывали, что триоксан сам не полимеризуется, а предварительно переходит в формальдегид, пока «Дюпон» через суд пытался отстоять свою монополию, другие ученые в других странах продолжали работать с удесятеренной энергией. И результаты не заставили себя ждать.

Долгое время считалось, что в водной и спиртовой среде нельзя получить высокомолекулярный полимер формальдегида. Со времен Бутлерова рекордной была длина цепи молекул 100–150 звеньев формальдегида. А для того чтобы получить пластик, обладающий значительной прочностью, длина макромолекулы полимера должна быть в 10 раз больше. Итальянским исследователям во главе с Беззи удалось найти такие условия, при которых прямо из водного раствора выпадает высокомолекулярный полимер, да еще с необычной орторомбической структурой (к сожалению, нестабильной). Правда, реакция шла очень медленно.

Наконец, японские авторы смогли организовать в промышленном масштабе выделение циклического тетрамера формальдегида – *тетраоксана*, и на его основе тоже получили полиформальдегид.

А что же на родине первооткрывателя формальдегида и его полимеров спокойно следили за драмой идей? – спросит заинтересованный читатель.

До конца 50-х годов интерес наших исследователей был сосредоточен на феноло- и мочевиноформальдегидных смолах. Но вот проблемой формальдегида заинтересовался академик Н. Н. Семенов.

Здесь придется сделать небольшое отступление. Формальдегид производят в значительных масштабах – во всем мире несколько миллионов тонн в год. В прошлом добывали формальдегид из угля через оксид углерода. Сейчас основным источником сырья является природный газ. Путем окисления из него получают метанол, который окисляют в формальдегид. При этом, естественно, образуется много побочных продуктов, да и затраты энергии высоки.

Принципиально возможен иной путь – прямое окисление природного газа. Именно эту проблему начали разрабатывать Н. Н. Семенов и его ученики. Как обычно, широко формулируя задачу, Н. Н. Семенов заинтересовался возможностью получения полимера из природного газа и организовал в Институте химической физики исследования по полимеризации формальдегида и его производных. Работы в этом направлении возглавил один из учеников Николая Николаевича, ныне академик, Н. С. Ениколопов.

Достижением в научном плане явилось открытие реакции межцепного обмена. Суть ее сводится к тому, что в определенных условиях полимеры, содержащие эфирные связи, способны обмениваться блоками (отрезками) макромолекул. Эта реакция открывает новые возможности при синтезе сополимеров с эфирными связями. Практическим достижением отечественной технологии явилась разработка вполне оригинальных технологических процессов получения сополимеров формальде-

гида. Например, наша страна располагает процессом получения стабильного сополимера (СФД) непосредственно из мономерного формальдегида.

Кажется историю взлетов и падения полиформальдегида можно заканчивать: полимер занял свое место среди других конструкционных пластиков, его мировой выпуск приблизился к 100 тыс. т в год. Это, конечно, не полиэтилен и не полистирол по масштабам производства, но среднетоннажный полимер со своими вполне сложившимися областями применения. Он успешно заменяет цветные металлы и сталь, а также термоактивные смолы при изготовлении различных деталей автомашин, тракторов, агрегатов, приборов, пишущих машинок, часов и т. п. Из него обычно не делают расчески и авторучки, потому что он дороже полистирола, но, например, в автомобилях ВАЗ из него изготовлено около 50 деталей.

В заключение несколько слов о видах на будущее. Когда Н. Н. Семенов обосновывал важность проблемы синтеза полимера формальдегида, он подчеркивал значение того факта, что формальдегид получают из природного газа, а не из нефти. А между тем все крупнотоннажные синтетические полимеры получают из нефти – и полиэтилен, и полипропилен, и поливинилхлорид, и полистирол, и синтетические каучуки. После полимеров нефтяного происхождения полиформальдегид стоит на первом месте по резервам сырья. А раз сырья много и оно дешевое, то продукт должен быть дешевым! Это – одна из заповедей полимерной технологии. Вообще, в химии затраты на сырье составляют львиную долю затрат на получение продукта. При синтезе полимеров доля затрат на энергию, воду и вспомогательные материалы несколько увеличивается, но все же стоимость сырья обычно составляет 50–70% себестоимости полимерного материала. – Пойдите, – может воскликнуть читатель, – только что вы утверждали, что полиформальдегид вовсе не так уж и дешев – дороже полистирола.

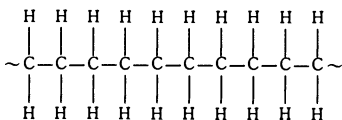
Да, пока он не очень дешевый – сказывается сложность технологии. Затраты на сырье составляют всего около 40% от общей себестоимости. Кроме того, при укрупнении производства

уменьшаются различные побочные расходы. Уже проделаны расчеты, по которым при крупном производстве цена на полиформальдегид должна быть ниже цены на полистирол и будет приближаться к цене на полиэтилен высокой плотности.

Все это очень важно, потому что цены на нефть на мировом рынке непрерывно растут, а ее запасы явно ограничены. Раз так, то может быть история полимера формальдегида еще не дописана.

### Полиэтилен старший и полиэтилен младший

Новые полимеры стремятся заменить, вытеснить старые. Но это им редко удается. Вот другая история, связанная с самым популярным пластиком – полиэтиленом. Структура полимера предельно проста – всего два элемента, углерод и водород:



Но получить твердый полимер долгое время не удавалось. Об открытии полиэтилена и метода его синтеза мы уже говорили. Это теперь для получения синтетических алмазов применяют и большие давления, и более высокие температуры, но тогда условия получения полиэтилена выглядели экзотическими. Независимо от англичан способ получения полиэтилена разработали советские ученые во главе с А. И. Динцесом.

Свойства нового полимера оказались необычными: он не разлагался ни в концентрированных кислотах, ни в щелочах (вспомните чувствительный к ним полиформальдегид). Особый успех полиэтилену принесла не химическая стойкость, а выдающиеся электроизоляционные свойства. Во время войны из него изготовляли оболочки электрических кабелей для самолетов, подводных лодок, радиолокационных установок.

Победное шествие полиэтилен продолжил после войны: пленку, бутылки, канистры, флаконы, игрушки, изоляцию проводов, трубопроводы, бытовую арматуру, прокладки и тысячи других изделий стали изготавливать из этого нефтяного полимера. Он быстро потеснил фенольные смолы и полистирол, выйдя на первое место в мире.

Но для получения полиэтилена нужно было создавать мощные компрессоры, чтобы сжать газообразный этилен под давлением 150 МПа. Реакторы для его полимеризации изготавливали из пушечной стали. На некоторых опытных установках устанавливали прямо жерла морских орудий.

Не прекращались поиски других условий синтеза этого полимера. Дело в том, что «пушечный» процесс шел под действием следов кислорода или добавок пероксидов, которые начинали (инициировали) реакцию. Между тем химикам было хорошо известно, что для многих химических процессов можно подобрать специальные катализаторы – вещества, способные повышать скорость реакций при более низких температурах и давлениях.

В 1953 г. немецкий химик и инженер К. Циглер получил такие катализаторы на основе хлорида титана и органических соединений, содержащих алюминий. Теперь полимер этилена можно было получать при давлении всего 0,1–0,5 МПа и температуре 30–40°C. Это открытие произвело сильное впечатление на руководителей полимерной промышленности. Долой пушечные стволы и гигантские компрессоры, теперь полиэтилен можно получать простым и дешевым способом!

Но нет, химия высокомолекулярных соединений подготовила сюрприз. Уж на что, казалось бы, проста структура полиэтилена – углеводород, только с длинными цепями. Какая разница, как его получать? Но плотность и кристалличность полиэтилена высокого и низкого давления (так их стали называть) оказались разными: у младшего брата оба показателя выше. В данном случае выше не есть лучше, но и не хуже – просто другие свойства. Оказалось, что из полиэтилена высокого давления лучше делать пленку, из полиэтилена низкого давле-

ния – различные литьевые изделия, он более жесткий. Другими словами, у каждого нашлась своя область применения. Добавим, что полиэтилен низкого давления и обходится дороже, хотя ни мощных компрессоров, ни пушек для его получения не надо.

Физико-химики показали, что оба полиэтилена различаются строением макромолекул. При высоком давлении образуются цепочки с разветвленной структурой, им труднее кристаллизоваться, поэтому плотность такого полимера ниже, порядка  $0,920\text{--}0,925\text{ г/см}^3$ . На катализаторе Циглера получается почти линейный полимер с малым числом разветвлений. Его плотность  $0,95\text{--}0,97\text{ г/см}^3$ . Это различие в  $0,3\text{--}0,5\text{ г/см}^3$  влечет за собой существенное различие в свойствах.

А разницу в цене объясняют технологи. Процесс при высоком давлении сложен по аппаратурному оформлению. Если Вы придете в современный цех производства полиэтилена высокого давления, то вас поразят масштабы производства, громады корпусов, заполненных оборудованием. Среди них нелегко отыскать сравнительно небольшой реактор – сердце процесса. Он всегда располагается отдельно за прочной железобетонной стеной на случай возможного взрыва. Все остальное оборудование предназначено для обработки, окраски, складирования готовой продукции.

Добавим еще, что и степень превращения мономера в полимер крайне низка для полимеризационных процессов – всего  $8\text{--}12\%$ . Это означает, что от  $88$  до  $92\%$  этилена приходится прогонять через реактор вхолостую и возвращать назад. И все же из-за высокой скорости реакции процесс очень производителен, а полимер сразу после реактора, в котором он образуется, готов к применению, так как не содержит примесей.

Полиэтилен низкого давления производят по-другому. Не нужно давление, зато нужен растворитель – бензин, да в больших количествах. Полимер после реактора нужно отделить от бензина, а главное – нужно отделить катализатор, который способен резко ухудшить замечательные электроизоляционные свойства полимера. И вот полимер многократно промывают

водой, спиртом, потом сушат в сушилках. В результате материал получается несколько дороже.

Полиэтилен–пластик № 1 в мировом табеле о рангах. Только полиэтилена высокого давления выпускается в мире около 20 млн. т в год. Полиэтилена низкого давления в 2,5 раза меньше, чем старшего брата.

## **Будущее полимеров**

Современное мировое производство синтетических полимеров базируется на нескольких «китах». Основные мономеры для изготовления каучука получают из нефти. Это–бутадиен и изопрен. Четыре «кита» составляют основу производства пластмасс–этилен, винилхлорид, стирол и пропилен. Напомним, что все они получают из нефти. Синтетические волокна главным образом производят из полиамидов (капрон, нейлон), лавсана, полиакрилонитрила.

Развитие современной техники невозможно без десятков и сотен других полимеров, но масштабы их производства значительно меньше. Потеснить «китов» трудно. Прогнозы, регулярно составляемые учеными, предсказывают, что до конца этого века структура выпуска полимеров существенно не изменится.

Несколько лет назад один из крупнейших авторитетов в области полимерных материалов Г. Марк (ему более восьми-десяти, и он своими руками строил здание полимерной науки), выступая на страницах одного из советских научных журналов, предсказывал, что число новых полимеров будет уменьшаться–резервы мономеров достаточно глубоко проработаны. Действительно, статистика показывает, что за последнее время число новых полимеров, освоенных промышленностью, сократилось. Центр тяжести исследовательских работ переместился в область модификации, улучшения свойств уже известных материалов.



Основы будущего закладываются уже сегодня. Что же предстоит сделать? Для того чтобы преодолеть отставание по пластикам и волокнам, нам предстоит и в будущем усиленно наращивать их производство. Мы уже несколько раз упоминали, что все основные полимеры получают из нефти. Нефть на мировом рынке непрерывно дорожает, это сказывается и на цене полимеров. Поэтому ученые всерьез задумываются над проблемой нехватки нефти. Пока еще ее достаточно, нефть ищут и находят в континентальном шельфе, не исчерпаны запасы основных мировых месторождений. Но насколько лет ее хватит человечеству?

Пока больше всего обеспокоены специалисты по топливу. Но и химики, потребляющие всего около 4% ежегодно добываемой нефти, с опасением смотрят в будущее. Дефицит нефти не должен застать врасплох. Может быть нужно срочно развивать производство ненефтяных полимеров – полиформальдегида и других? Пока они дороги, но если нефть и дальше будет дорожать такими темпами...

– Но постойте, – восклицает читатель, – на химическую переработку идет ничтожная часть нефти. Все остальное сжигают. Это ведь расточительство! Еще в школе нас учили, что сжигать нефть – ценнейшее сырье – нельзя. Об этом писал еще Д. И. Менделеев.

– Существенно увеличить долю нефти, идущей на химическую переработку, нельзя, – отвечают специалисты. Самое большое – 10%, остальное – тяжелые фракции. Сколько бы ни возмущались химики, большая часть нефти будет сжигаться в виде топлива в двигателях автомобилей, самолетов, ракет, тепловозов, тракторов, теплоходов, в топках тепловых электростанций. В обозримом будущем двигатель внутреннего сгорания останется незаменимым.

Ученым приходится задумываться над экономией ресурсов своей маленькой планеты. Эпоха бездумного, расточительного отношения к природе, от которой нужно побольше взять, ухо-

дит в безвозвратное прошлое. Нефть и вода, лес, воздух и земля – все должно ставиться на строгий учет.

Уже Г. Уэллс предсказывал, что в целях экономии топлива люди когда-нибудь вернутся к парусным кораблям и воздушным шарам. Кстати, экспериментальные парусные суда уже вышли в море. Они несут металлические или полимерные паруса, ими управляют компьютеры. Над программами создания современных дирижаблей работают во многих странах.

Все большее и большее значение приобретает проблема экономии энергии. Сравнительные расчеты затрат энергии на производство различных материалов становятся очень важными. Их ведут во всех странах. Оказывается, что затраты энергии на получение пластмасс и производство изделий из них меньше, чем соответствующие затраты на металлы. В этом их большое преимущество.

Особенно большое значение приобретают полимерные композиционные материалы – композиты. В них основные нагрузки выдерживают армирующие волокна из стекла, полимеров, металлов. Полимер выполняет роль связующего. Помимо волокон или наряду с ними в композит можно вводить различные дисперсные наполнители, газ. Создание композитов – следующий шаг в развитии пластмасс. Сначала применяли «чистые» полимеры, а их свойства пытались изменять только варьируя химическую структуру макромолекул. Теперь, вводя новые компоненты, удастся достичь замечательных результатов.

Про стеклопластик знают буквально все. Его делают на основе полиэфирных, фенолоформальдегидных или эпоксидных смол. Стекланные волокна придают материалу жесткость и прочность, полимер выступает в роли связующего – он связывает волокна в конструкцию, придает материалу гибкость и эластичность. С помощью стеклопластиков можно решать задачи создания крупных конструкций – корпусов яхт и небольших теплоходов, цистерн, стальных панелей, трубопроводов большого диаметра, корпусов автомобилей.

Сейчас уже разработаны и применяются в космической и авиационной технике новые армированные материалы, в ко-

торых вместо стеклянного используется более прочное углеродное или полиамидное волокно и кристаллические металлические волокна из бора и других металлов. Именно этим материалам принадлежат мировые рекорды прочности и жесткости. В будущем их применение расширится.

Для производства и изготовления изделий из композитов требуется значительно меньше энергии, чем для изготовления тех же конструкций из стали или алюминия.

### **Как уменьшить расход полимеров**

Если сырье для производства полимеров станет (или уже стало) дефицитным, то нужно научиться его экономить. Ученые уже сейчас работают над этой проблемой, одновременно в четырех направлениях.

1. Упрочнять, чтобы уменьшить расход. Из более прочного материала можно сделать изделие с более тонкими стенками, или более тонкую пленку, или волокно. Одно из основных направлений повышения прочности – это создание композитов. Не исчерпаны также резервы повышения качества полимеров за счет направленной кристаллизации, ориентации.

Полиэтилен – не очень прочный материал, полиэтиленовая пленка легко рвется. На языке механиков его прочность при растяжении всего около 20 МПа. Но специально ориентированные при вытяжке высококристаллические волокна и пленки из него, полученные пока только в лаборатории, могут иметь прочность до 200 МПа!

2. Стабилизировать, чтобы увеличить срок службы. Полимерам не страшна ржавчина, но им свойственно стареть. Под действием ультрафиолетовых лучей, кислорода воздуха, влаги они темнеют, растрескиваются, становятся хрупкими. Химики борются со старением полимеров, вводя в них различные стабилизаторы – добавки, замедляющие процессы старения. Полиэтиленовая пленка без стабилизаторов служит один сезон, стабилизованная – три сезона. Но стабилизаторы дороги!

3. Утилизировать отходы. Отходы полиэтиленовой пленки собирают и пускают на вторичную переработку. «Вторичный» полиэтилен уступает по свойствам «свежему» продукту, но находит широкое применение. «Вторичный» капрон получают из чулок и носков. Изделия из реактопластов нельзя вновь расплавить. Сначала ученые искали способы разложить их химическими или биологическими методами. Но это невыгодно энергетически. Возможный путь – использование размолотых полимеров в виде наполнителей для композитов.

4. Наполнять стем, чтобы разбавлять. Во многих случаях в полимерные материалы можно вводить дешевые минеральные наполнители: мел, тальк, глиноземы, песок, цементную пыль, вулканическое стекло, отходы производства волокон и т. п. Многие из этих веществ уже используют для наполнения реактопластов. Когда полимер образует трехмерную сетку, он цепко удерживает частицы наполнителя. Материал при этом приобретает прочность, твердость, расход полимера снижается.

Теперь на очереди наполнение термопластов. Здесь задача посложнее: линейные полимеры слабо взаимодействуют с неорганическими наполнителями, и материалы, содержащие 30–50% наполнителя, получаются хрупкими. Но ученые упорно работают над этой проблемой. Предложены, например, добавки поверхностно-активных веществ, аппретов, которые заметно улучшают взаимодействие между полимером и частицами наполнителя. Небольшие добавки (около 1%) этих веществ позволяют получать наполненные термопласты с хорошими механическими свойствами.

Перспективным является метод так называемой *механохимической обработки*. В этом случае частицы наполнителя подвергают размолу в быстродействующей аппаратуре (шаровые или струйные мельницы, дезинтеграторы) в присутствии полимеров или мономеров. При разламывании твердой частицы на ее поверхности образуются химически активные группы, способные взаимодействовать с полимером. Если наполнитель сначала подвергнуть размолу, а затем смешать с полимером,

то прочностные показатели такой композиции будут на 25–40% ниже показателей композиции, полученной механохимическим способом.

Еще больше надежд ученые возлагают на способ *полимеризационного наполнения*. В этом случае с наполнителем смешивают мономер, жидкий или газообразный. Предварительно на поверхности наполнителя тем или иным химическим способом закрепляют молекулы катализатора. Затем создают такие условия, чтобы макромолекулы полимера выростали непосредственно на поверхности частиц наполнителя. Получается композит, в котором неорганический наполнитель химически связан с органическим полимером. Это направление разрабатывает у нас в стране академик Н. С. Ениколопов и его ученики.

### **Переработка полимеров в изделия**

После появления пластмасс долгое время основным способом их переработки было прессование. До сих пор этот метод широко применяется для переработки в изделия многих реактопластов. В прессе под давлением материал размягчается и заполняет форму. Там же протекает реакция химического сшивания реактопласта. Этим способом можно перерабатывать и термопласты, но это невыгодно – прессование медленный процесс.

Более высокую производительность обеспечивают процессы *литья под давлением*, когда форму заполняет расплавленный пластик, *экструзии*, когда из расплавленного пластика непрерывно выдавливается труба, лист, пленка или волокна.

Литьевые машины созданы и для реактопластов. В них жидкий полимер подается в форму и там отверждается. Цикл литья длиннее, чем при переработке термопластов, но в некоторых случаях конкуренцию выигрывают реактопласты (детали автомобилей из терморепактивных полиэфиров или полиуретанов обладают ценным комплексом свойств).

Некоторые жидкие мономеры можно полимеризовать сразу непосредственно в форме. Так получают изделия из некоторых

полиамидов. К сожалению, мономеров для таких процессов немного. Нужно, чтобы реакция шла быстро, без большого тепловыделения, без изменения объема.

Широкое применение получает технология олигомеров. Одним из пионеров этого направления был профессор А. А. Берлин. Он первым показал, что жидкие олигомеры можно заливать в формы, наносить на поверхность дерева, металла, пленки, материи, бумаги. Превращение (сшивание) олигомера в полимер происходит при нагревании, при действии ультрафиолетовых или радиоактивных излучений. При этом отпадает надобность в сложном оборудовании и высоком давлении. Олигомерная технология совершила переворот в технике формования изделий из пластмасс.

Сложные задачи перед инженерами ставят стеклопластики и другие армированные пластики. Идет ли речь о горных лыжах, спортивных судах, химическом оборудовании или корпусах автомобилей, – каждый раз приходится разрабатывать технологию получения изделий из полуфабрикатов – жгутов или матов стекловолокна, пропитанных жидкой термореактивной смолой с последующим отверждением смолы, т.е. превращением олигомеров в сетчатые полимеры.

Для непрерывного формования труб и профилей из стеклопластиков разработан специальный способ – *палтрузия*, аналогичный экструзии.

О некоторых других способах получения изделий из пластиков можно составить представление по названиям: пропитка, макание, напыление, штамповка, спекание, полив, вакуум- и термоформование и т. д.

---

# ЧТО ТАКОЕ ТЕХНОЛОГИЯ

ПОЧЕМУ ХИМИКИ НАЧИНАЮТ С КОЛБЫ?	46
Охотники за мономерами	48
Как работают химики	50
Как заставить мономер превратиться в полимер	53
МОЖНО ЛИ ПРЕДСКАЗАТЬ ЗАРАНЕЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ	55
О НЕВОСПРОИЗВОДИМЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ И НЕОЖИДАННЫХ ЭФФЕКТАХ	57
ПОЧЕМУ НЕЛЬЗЯ ОТ КОЛБЫ СРАЗУ ПЕРЕЙТИ К ПРОМЫШЛЕННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ?	59
ДЛЯ ЧЕГО НУЖНО ЗНАТЬ ТЕРМОДИНАМИКУ И КИНЕТИКУ	61
Как стабилизировали полиформальдегид	65
Кинетики и синтетики	67
ТЕХНОЛОГИЯ – НАУКА ИЛИ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВО?	74
Что говорят историки и поэты	74
О патентах и патентной политике	76
А. Эйнштейн об изобретениях	78
Коммерческий подход к технологии	79
Наша патентная политика	80
Где кончается наука и начинается технология	83

## Что такое технология

*Прочитав первую главу, читатель получил разнообразные, но довольно поверхностные сведения о полимерных материалах. Теперь пора перейти к более конкретному описанию предмета этой книги.*

*В этой главе мы попытаемся ответить на следующие вопросы: с чего начинается создание нового полимера; как химики узнают свойства полученного полимера и почему для получения больших количеств полимеров необходимо прибегать к помощи технологов; почему до сих пор среди ученых не прекращаются споры о том, что такое технология: наука или изобретательство?*

### Почему химики начинают с колбы?

#### Охотники за мономерами

Новые полимеры рождаются в стенах химических лабораторий. Когда-то они получались случайно, но с начала нашего века часть химиков стала специально заниматься их синтезом. Обычно этих специалистов называют *синтетиками*. Это настоящие охотники за мономерами.



– Вы хотите сказать: за полимерами,–спешит поправить читатель.

– Нет, именно за мономерами. Ведь чтобы получить полимер, нужно, как минимум, иметь мономер.

Давайте разберемся, какие химические вещества можно считать мономерами, а какие нет. На заре полимерной эры между учеными разгорелись споры–какова химическая структура полимерных веществ. Одни считали, что полимеры–это коллоиды, ведь при растворении они образуют не истинные, а коллоидные растворы. Академик В. А. Каргин–крупнейший советский полимерщик–вспоминал, что до начала войны золото, ртуть и полимеры изучали в одной лаборатории, поскольку все они образуют коллоидные растворы.

Нет, возражали другие,–полимерные молекулы образуют огромные циклы. Третьи полагали, что молекулы полимеров представляют собой длинные цепочки связанных друг с другом мономерных молекул. Последнюю идею развивал знаменитый немецкий химик Г. Штаудингер в 20-х годах нашего века. Используя знакомый нам полимер формальдегида, он показал, как с увеличением длины молекул постепенно изменяются свойства материала: растут вязкость, температура плавления, появляются специфические свойства. Он же ответил на вопрос, каким образом некоторые полимеры образуют кристаллы. Это явление очень смущало физиков: ведь кристаллы образуют низкомолекулярные вещества. Оказалось, что макромолекулы могут упаковываться сразу в несколько кристаллических ячеек. Идеи Штаудингера постепенно были приняты всеми специалистами, изучавшими строение полимеров.

Если полимерные молекулы это цепочки, построенные из мономерных звеньев, то мономером можно считать вещество, молекулы которого способны соединяться в длинные цепи,–рассуждали химики. Сравнительно быстро было установлено, что этим свойством обладают вещества, в молекулах которых имеются непредельные связи– $C=C$  или  $C=O$ . Тогда при разрыве одной связи получатся две свободные валентности:  $-C-C-$  или  $-C-O-$ . Такие молекулы могут соединяться, образуя цепи.

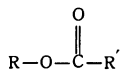
Следовательно, все соединения с неопредельными связями – потенциальные мономеры? Да, в общем так. Таких соединений в органической химии видимо-невидимо. Работы синтетикам хватило на долгие годы. Одни соединения, такие как формальдегид или стирол, полимеризовались очень легко – достаточно их нагреть или охладить, с другими, например с этиленом или пропиленом, пришлось возиться несколько десятилетий.

Если химику-синтетику попадается мономер с «трудным характером», то в ход пускается весь арсенал приемов, накопленных химиками за 100 лет. Мономер охлаждают в жидком азоте, нагревают до высоких температур, распыляют в глубоком вакууме, сдавливают при громадных давлениях, облучают ультрафиолетовыми, рентгеновскими лучами, стреляют им из специальных пушек (это называется «полимеризовать в ударной волне»). Особые надежды химики возлагают на катализаторы, но вот подобрать подходящий катализатор – задача не из легких.

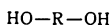
Пока часть химиков пустилась в погоню за неопредельными мономерами, другая заинтересовалась реакцией эфиризации. Что это такое? Если взять спирт  $\text{R-OH}$  и кислоту



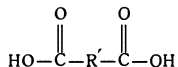
то при их взаимодействии образуется эфир



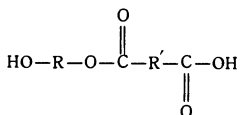
А что, если взять в качестве спирта гликоль, в молекуле которого две функциональные гидроксильные группы



и бифункциональную кислоту, в молекулах которой две кислотных группы



Что произойдет, если эти вещества начнут взаимодействовать? По-видимому, сначала должна образоваться молекула с одной эфирной группой и двумя концевыми группами—спиртовой и кислотной:



Эта молекула может взаимодействовать с такими же и каждый раз будет получаться молекула больших размеров, содержащая и кислотную, и спиртовую группу на концах. Если процесс будет идти достаточно долго, то в результате должны получиться длинные макромолекулы полиэфиров.

Подобная реакция получила название *поликонденсации*. Исходные мономеры не содержат неопределенных связей, но зато содержат по две функциональных группы. Метод поликонденсации оказался весьма эффективным для получения многих промышленных полимеров и прежде всего волокнообразующих—полиамидов, лавсана, различных полиэфирных смол и др.

Позже других в разряд мономеров попали циклические соединения, т. е. такие, молекулы которых представляют собой циклы. Если цикл разорвать в одном месте, то получится линейная молекула со свободными связями на концах. Затем нужно подобрать такие условия, чтобы разорванные циклы соединялись друг с другом, образуя линейные молекулы. Затратив массу усилий, химики справились и с этой задачей. Пример тому—триоксан, о котором было сказано раньше.

Опытный химик-синтетик – настоящий виртуоз своего дела. Он может получить линейный полимер или разветвленный, полимер, молекулы которого напоминают лестницу, и полимер, молекулы которого похожи на колеса, связанные веревочками (полимеры именно с такой структурой обладают повышенной термической стойкостью – до 500°С.).

Как он работает в своей лаборатории? Во-первых, в белом халате, так как чистота для него так же важна, как и для врача. Часто на руках у него резиновые перчатки, а на лице стеклянная маска-щиток, делающая его похожим на персонаж из научно-фантастического фильма. Большую часть рабочего времени он проводит около стеклянного шкафа, оборудованного сильной вытяжкой. Все эти предосторожности необходимы, так как мономеры бывают очень капризные – едкие, огнеопасные, взрывоопасные.

Сначала небольшое количество нового мономера нужно очистить от следов влаги, кислорода и других примесей.

К примесям химик относится крайне подозрительно. На эти «зловредные» примеси принято сваливать все неудачи. Это они губят капризные и чувствительные катализаторы, запутывают результаты опытов, мешают повторить (воспроизвести) нужный результат.

Для того чтобы тщательно очистить мономер, его промывают щелочью и кислотой, эфиром и ацетоном. Потом сушат от следов влаги над металлическим натрием, по несколько раз перегоняют в вакууме.

Если последовательность операций продумана неправильно, то приходится все начинать сначала. Процедура очистки реагентов в химии столь сложна и трудоемка, что химик буквально дрожит над каждой каплей тщательно очищенного вещества. Вот почему свои эксперименты он старается провести в микромасштабе, изо всех сил экономя драгоценное вещество.

Требования к чистоте мономеров очень высоки: часто необходимо, чтобы мономер содержал «четыре девятки» основного вещества, т.е. 99,99%. Но это не предел.

Как распознать примеси? Могучим средством современного химического анализа является хроматография. В небольшой медицинский шприц набирают буквально каплю исследуемого вещества и «вкалывают» шприц в прибор через резиновую прокладку. Газовый поток уносит пробу в колонку, заполненную специальным наполнителем. В ней примеси разделяются и поочередно все компоненты увлекаются в чувствительный детектор—устройство, сигнализирующее о поступлении химического вещества. Сигнал детектора воздействует на самопишущее перо, которое чертит линию на рулоне бумаги. Пока прибор не загружен, перо мирно выписывает прямую линию (если все в порядке с напряжением в сети). Но вот аналитик ввел пробу мономера. Через некоторое время перо начинает выписывать «горные пики», иногда весьма замысловатой формы.

— Это что? А это откуда?—нервно спрашивает синтетик у коллеги при появлении каждого нового пика на диаграмме. Если мономер анализируется впервые, то аналитик недоуменно молчит. Пики на хроматограмме безмолвны, их еще предстоит расшифровать.

Хроматограмму, изображенную на рисунке, аналитик воспримет спокойно. Большой пик принадлежит самому мономеру, маленькие—примесям. Но бывает, что пиков несколько—целый лес.

— Что это вы мне подсунули?—возмущается тогда аналитик,—здесь же одна грязь! И приходится химику снова браться за очистку.

Но трудности, связанные с получением чистых веществ, это только одна из причин, из-за которых химики предпочитают работать с малыми объемами. Коснемся других.

Большинство реакций образования полимеров протекает с выделением тепла, т.е. экзотермично. Общее количество выделяемого тепла пропорционально массе образующегося продукта и зависит от структуры мономеров. Для химика и тех-

ногола важно и количество тепла, и скорость его выделения.

Бывает, что реакция весьма экзотермична, но скорость ее мала, и выделяющееся тепло успевает рассеиваться в окружающую среду. От другой реакции химик не ждет неприятностей – по расчету тепла должно выделиться немного. Но реакция прошла быстро, за несколько секунд, и все тепло выделилось сразу. Это уже плохо. Содержимое колбы нагреется, закипит, может произойти выброс, возгорание и прочие неприятности.

Продумывая эксперимент, химик должен учесть все последствия, а правила техники безопасности он должен знать не хуже, чем автолюбитель знает правила уличного движения.

Чем меньше объем колбы, тем меньше может выделиться тепла при неуправляемом течении реакции, тем спокойнее с точки зрения техники безопасности.

Первые разведочные опыты химик ставит в самой маленькой посудине – пробирке, маленькой колбочке. Если все идет



нормально, можно перейти к колбе больших размеров – до 1–2 л. Обычно химик работает со стеклянной посудой: все видно и мыть ее удобно. Стекло плохо проводит тепло, но при малых объемах лабораторных колб это неважно. Охлаждает свои колбы и пробирки химик обычно на водяной бане, нагревает на закрытой плитке или на песчаной бане. При промывке, очистке продукта все реагенты берутся в большом избытке: промывать, так промывать как следует.

Но вот новый полимер получен, промыт, очищен и высушен. Его сначала немного – несколько граммов, в лучшем случае несколько десятков граммов.

### **Как заставить мономер превратиться в полимер**

Мы уже говорили о том, что первые синтетические полимеры были получены более или менее случайно. Когда же ученые приступили к систематическому синтезу полимеров, то им пришлось разрабатывать различные способы полимеризации.

Одним из излюбленных объектов для изучения механизмов полимеризации и свойств полимера оказался стирол. Этот мономер получают главным образом из нефти, он доступен, удобен в работе, обладает «спокойным нравом», его можно полимеризовать различными способами. Это жидкость с довольно таки приятным запахом, но вдыхание паров стирола опасно, и его концентрация в воздухе производственных помещений строго контролируется.

Достаточно пробирку со стиролом нагревать на водяной бане в течение нескольких часов, как содержимое пробирки превратится в твердый, бесцветный, стеклообразный полимер – полистирол. Чем выше температура, тем быстрее протекает полимеризация.

Свойством самопроизвольно полимеризоваться при нагревании обладают формальдегид, метилметакрилат и некоторые другие мономеры.

Можно ускорить полимеризацию стирола, если к нему добавить небольшое количество *инициатора* – вещества, которое при нагревании распадается, образуя *свободные радикалы*. Так называют незаряженные фрагменты молекул, имеющие незапаренный электрон. Примеры свободных радикалов – атомы водорода, кислорода, азота, галогенов. Свободные атомы этих элементов не могут долго существовать – они взаимодействуют с другими атомами или молекулами.

Точно так же ведут себя и все другие свободные радикалы. Стирол легко полимеризуется под их воздействием. Многие другие важные для промышленности мономеры полимеризуются таким же образом. Среди них винилхлорид, этилен (при высоком давлении), метилметакрилат, образующий «оргстекло». По *радикальному механизму* образуются сетчатые полимеры из непредельных полиэфиров, заливочных компаундов, так отверждаются многие полимерные покрытия. Метод этот удобен тем, что полимеризация протекает на воздухе, в присутствии влаги при невысоких температурах.

Если стирол очень тщательно очистить от влаги, разбавить инертным растворителем и добавить к нему некоторые соединения щелочного типа, то также произойдет полимеризация и образуется полистирол, но его свойства будут отличаться от свойств продукта, полученного радикальным методом.

Полимеризация под действием соединений щелочного типа называется *анионной*. Провести ее значительно сложнее, чем радикальную. Зачем же она тогда нужна? Во-первых, иногда она обеспечивает получение полимера более высокого качества, чем радикальная полимеризация. Например, некоторые сорта синтетического каучука получают именно этим методом. Во-вторых, некоторые мономеры из-за особенностей строения полимеризуются только анионно. Например, так получают полиакрилонитрил – синтетическую шерсть, поливинилтриметилсилан – материал для полупроницаемых мембран, поликапролактам – капрон и др.

К хорошо очищенному раствору стирола можно добавить какую-либо кислоту или некоторые соли, обладающие кислотой



реакцией. И снова образуется полистирол, правда, с низкой молекулярной массой, практически – олигомер стирола. Это *катионная* полимеризация, наиболее сложная и капризная. Например, полиформальдегид, получаемый катионной полимеризацией (точнее сополимеризацией) обладает более высокой термической и химической стабильностью, чем продукт, полученный по анионному механизму. Только методом катионной полимеризации удастся заполимеризовать изобутилен и получить ценный вид синтетического каучука. При этом температура должна быть –100°С – иначе получится низкомолекулярный маслоподобный продукт.

Щелочные и кислотные катализаторы широко используют в поликонденсации.

Для инициирования и ускорения полимеризации в лаборатории химии широко используют мощное ультрафиолетовое и другие виды излучений, включая рентгеновское и лазерное. Недавно академик Н. С. Ениколопов и его ученики показали, что некоторые соединения можно полимеризовать в твердом виде, подвергая их сильному сжатию и одновременно деформации сдвига. Так, в мономеры превращаются бензол и некоторые другие ароматические соединения, которые обычно не считаются мономерами.

## **Можно ли предсказать заранее свойства полимеров?**

Действительно, знает ли химик, нагревая колбу, какой полимер у него получится – прозрачный или непрозрачный, твердый или мягкий, плавкий или неплавкий? В популярной, да и в специальной, литературе утвердился термин «полимеры с заранее заданными свойствами». Значит свойства любого полимера можно предсказывать, рассчитывать заранее на бумаге?

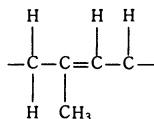
Да, действительно многие свойства полимеров можно прогнозировать на основе теории и накопленного опыта. Правда

и другое – во многих случаях химики предпочитают объяснять уже полученный результат.

Вы хотите синтезировать новый эластомер, который обладал бы повышенной морозостойкостью, т. е. не растрескивался бы при низких температурах? Слово специалисту физико-химику.

В группу эластомеров входят аморфные полимеры с очень большими обратимыми удлинениями при растяжении. Другими словами, если образец эластомера растянуть под действием нагрузки, а затем нагрузку снять, то первоначальный размер образца восстановится. Эластичность проявляется, когда полимер эксплуатируется выше его температуры хрупкости, но ниже температуры размягчения. Значит, нужно синтезировать полимер с возможно более низкой температурой хрупкости. Для того чтобы полимер не кристаллизовался, в молекулах мономера должны быть боковые группы, которые будут мешать регулярной упаковке полимерных цепочек, вносить хаотичность. Наконец, чтобы эластомер можно было бы превратить в резину, т. е. сшить цепи друг с другом, в нем должно быть некоторое количество двойных связей.

Кстати, именно по этому рецепту природа построила натуральный каучук. Его элементарное звено имеет структуру



а температура хрупкости составляет  $-73^{\circ}\text{C}$ .

Опираясь на эти сведения, химик-синтетик отберет круг мономеров с нужными свойствами и будет пытаться синтезировать полимер с заданной температурой хрупкости.

Допустим это ему удалось, но вот беда: полимер отлично растягивается, но при очень уж малых усилиях. На языке физико-химиков это означает, что прочность при растяжении мала. В чем же дело? Оказывается натуральный каучук при растяже-

нии частично кристаллизуется и в результате этого упрочняется (как природа предусмотрела эту его особенность – уму непостижимо!).

Значит нужно придумать что-то эквивалентное. Может быть частично сшить макромолекулы? Или ввести какой-нибудь упрочняющий наполнитель? И синтетик после консультации с физико-химиком будет вновь и вновь ставить эксперименты.

Техника в наши дни развивается стремительно и ставит перед полимерщиками все новые и новые задачи. Нужны материалы для работы в космосе? Можно сделать сверхвысокопрочные армированные пластики. Нужны материалы, работающие при  $+300^{\circ}\text{C}$ ? Можно сделать и такие. Нужна полимерная пленка для теплиц? И такая, чтобы днем пропускала ультрафиолетовые лучи в одну сторону, а ночью не пропускала инфракрасные в другую? Можно сделать такую.

Значит полимерщики могут все? И всегда заранее могут предвидеть результат? Нет, конечно! Их возможности ограничены и неожиданностей в полимерной химии не меньше, чем в других естественных науках.

## **О невоспроизводимых результатах и неожиданных эффектах**

Несколько лет назад в научно-юмористическом издании (кажется, в подборке «Физики шутят») появились ссылки на выдуманный «Журнал невоспроизводимых результатов». Про невоспроизводимые результаты следует сказать отдельно.

Химический эксперимент (впрочем, как и всякий другой научный эксперимент) складывается из множества элементов. Как бы тщательно мы не повторяли условия опыта, результаты будут немного различаться. Это только в легенде Робин Гуд мог стрелой из лука расщепить стрелу своего соперника. На практике стрелы и результаты экспериментов ложатся более или менее кучно.

Все это так, но каждый экспериментатор хранит в памяти удивительный, блестящий результат одного-единственного эксперимента, который перевернул бы вверх дном данную область науки, если бы он ... воспроизвелся! Однако бесконечные повторы опытов дают обыденный (на языке науки – тривиальный) результат.

Невоспроизводимые результаты, особенно полученные на границе чувствительности измерительных приборов, не раз приводили к драматическим последствиям в истории науки. Особенно там, где постановка проверочных экспериментов сложна – в биологии, сельском хозяйстве и т. п. Ведь что поражает в этой самой невоспроизводимости, что способно свести исследователя с ума – один-то раз получилось, значит в принципе это возможно?!

В каждой лаборатории вам расскажут легенды о невоспроизводимых результатах из устной летописи, а то и со ссылками на солидные журналы. Здесь и полимеры с необычными свойствами: с высочайшей прочностью, огромными молекулярными массами, исключительной теплостойкостью. Вот только получены они были всего один раз и сколько не бились – второй раз получить их не удалось.

В чем же дело? Ведь образец полимера – это объективная реальность. Его ведь держали в руках, исследовали на приборах.

Наверное, если бы в науке все было ясно и все теории подтверждались экспериментами, то ученым было бы скучно. Их всех можно было бы переквалифицировать, оставив только маленькую группу теоретиков.

Небольшой пример, касающийся предсказания свойств полимеров. Ученые изучали, как ведет себя полимер, если в него ввести маленькие стеклянные шарики. Из теории следовало, что по мере увеличения доли шариков в материале его прочность должна понижаться, а хрупкость возрастать. Прочность действительно понижалась в согласии с теорией, а вот хрупкость совершенно неожиданно стала уменьшаться. Просто поразительно – хрупкие стеклянные шарики, а эластичность мате-

риала возрастает. Есть над чем задуматься пытливному исследователю. Наверное, шарики как-то воздействуют на структуру материала или разрушение под нагрузкой наполненного материала протекает по другому механизму?

Итак, подведем итог. Химики способны более или менее точно предсказать свойства синтезируемого полимера, но для экспериментаторов еще остается широчайшее поле деятельности.

## **Почему нельзя от колбы сразу перейти к промышленному производству?**

Представим себе, что химик-синтетик получил в колбе новый полимер. Отдал его коллегам физико-химикам, те изучили свойства, установили структуру и сказали: отличный полимер, очень нужен народному хозяйству. Химик-синтетик обрадовался и... Нет, сначала он должен убедиться, что «Журнал невоспроизводимых результатов» в данном случае ни при чем. Он еще два-три раза поставил синтез и убедился, что методом получения нового полимера он действительно владеет: свойства образцов близки.

Теперь бы скорее построить завод и начать промышленное производство этого полимера. Но существуют тысячи причин, мешающих перейти от лабораторной колбы к промышленному реактору. Вот некоторые из них.

1. Лабораторный синтез – это еще не технология. Операции, которые исследователь выполняет в лаборатории, обычно нельзя слепо перенести в производство, это было бы слишком дорого и непроизводительно.

2. Рассчитать работу большого промышленного реактора, основываясь на «работе» лабораторной колбы, чрезвычайно трудно. Вот пример. Когда химик ставит реакцию в колбе, то для отвода тепла он применяет водяную баню. Рассчитывать поверхность колбы, через которую будет передаваться тепло, объем воды в водяной бане ему не придет в голову. Вообще-

то, подобный тепловой расчет способен выполнить семиклассник, но, основываясь на опыте, химик знает, проблем с регулированием температуры у него не будет.

Теперь следите внимательно за нашими рассуждениями: будем увеличивать размер колбы, сохраняя подобие геометрической формы. Как будет возрастать поверхность колбы? Как квадрат линейного размера. А как будет возрастать объем? Как куб линейного размера. Следовательно, отношение поверхности к объему не будет постоянным? Чем больше объем, тем меньше поверхности приходится на единицу объема. А ведь количество выделяемого в реакции тепла пропорционально объему реагентов. Следовательно, чем больше объем реактора, тем труднее будет отводить тепло через стенку. Для достаточно большого реактора нужно придумать другие способы отвода тепла.

Подобные проблемы возникают на каждом шагу. Как будут смешиваться реагенты в больших аппаратах, как их загружать и выгружать, не будут ли они слипаться? Все эти вопросы называются технологическими. Для того чтобы на них ответить (а таких вопросов будут сотни и даже тысячи), нужно разработать технологию процесса, построить несколько различных опытных установок и только потом спроектировать и построить промышленное производство.

3. Прежде чем новый полимер получит «путевку в жизнь», он должен пройти тщательные испытания. Из него будут изготавливать опытные образцы изделий и подолгу их проверять в различных условиях. Например, детали самолетов и автомобилей иногда испытывают по несколько лет.

– Ну хорошо, – скажет читатель, – если начать строить все эти опытные установки и выпускать опытные партии, то сколько же средств понадобится! Может быть лучше рискнуть: построить сразу завод, ну помучиться немного с наладкой, зато какой выигрыш в средствах и времени.

Нет, этот путь совершенно неприемлем. При постепенном, ступенчатом увеличении масштаба химического производства и то часто бывают ситуации, когда процесс плохо воспроизво-

дится. Представьте себе на минуту, что творится на огромном производстве, когда при запуске процесса идет брак: десятки тонн бракованного продукта заполняют складские помещения, рабочие, инженеры – все измучены сверх всякой меры. Исследователи, оторванные от своих колб и пробирок, беспомощно смотрят на огромные металлические аппараты. Это – аварийная обстановка. Эксперименты на промышленном оборудовании обходятся государству слишком дорого, а если возникнет необходимость переделки оборудования, то это сопряжено с миллионами рублей дополнительных расходов.

От колбы исследователя до промышленного реактора долгий путь. Давайте пройдем его вместе с химиком-синтетиком.

Для того чтобы запустить промышленное производство, нужно разработать технологию получения полимера. Но прежде чем браться за технологию, нужно как следует разобраться в теории. Нужно выяснить, какой объем экспериментальных данных надо накопить в лаборатории для того, чтобы вступить в диалог с технологами.

### **Для чего нужно знать термодинамику и кинетику**

Химик-синтетик разработал способ получения нового полимера, физико-химики помогли ему проанализировать структуру, определили некоторые основные свойства полимера – температуру плавления, растворимость и др. Пока синтетик получал первые образцы материала, его мало интересовала продолжительность реакции, степень превращения мономера в полимер. Но для технологии это очень важно – скорости реакций, выход продукта определяют экономику будущего процесса. Вот здесь на помощь приходят термодинамика и кинетика, составляющие два отдельных фундаментальных раздела физической химии, можно сказать, две особых науки.

Термодинамика, упрощенно говоря, имеет дело с теплотами реакций и вообще с изменениями энергии в ходе реакций.

Знать теплоту полимеризации очень важно, и мы в этом уже убедились. С тех пор как химикам пришлось взяться за труднополимеризуемые мономеры, интерес к термодинамике заметно возрос.

Законы термодинамики просты и строги. Для химических процессов неизменно следующий закон: реакция может протекать только тогда, когда свободная энергия (энергия Гиббса) исходных веществ больше свободной энергии продуктов реакции, т. е. когда свободная энергия реакционной системы уменьшается.

Напомним, что изменение свободной энергии (она обозначается  $\Delta G$ ) определяется простым уравнением, куда входят всего три величины:  $\Delta H$  – тепловой эффект реакции,  $T$  – температура, при которой происходит реакция, и  $\Delta S$  – изменение энтропии системы:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

При полимеризации тепло обычно выделяется, в этом случае  $\Delta H$  имеет знак «минус». Энтропия – мера неупорядоченности. Чем строже порядок, тем меньше энтропия. Да простят нам термодинамики следующую аналогию: толпа покупателей в беспорядке осаждают прилавок в магазине. Ее «энтропия» велика; те же покупатели, которые проявили сознательность или под влиянием другого организующего начала приняли цепное строение (попросту говоря, встали в очередь), имеют меньшую энтропию. Энтропия льда ниже энтропии воды, а та, в свою очередь, ниже энтропии водяного пара.

Совершенно подобную картину мы наблюдаем при полимеризации. «Толпа» неупорядоченно движущихся мономерных молекул обладает высокой энтропией. Солидные цепные макромолекулы имеют меньшую энтропию. Раз энтропия системы при полимеризации уменьшается, то  $\Delta S$  входит в уравнение со знаком «минус», и энтропийный член будет стремиться уравновесить вклад теплового эффекта.



Здесь на авансцену выходит температура. Если повышать ее, то положительный энтропийный член начнет «перевешивать». Если понижать, то «перевешивать» начнет тепловой эффект. Если оба члена равны друг другу, то  $\Delta G$  равно нулю; в этом случае при полимеризации наступает равновесие.

При переходе льда в воду (или воды в лед) равновесие наступает, как известно, при  $0^\circ\text{C}$ . Понизим температуру – вода будет замерзать, повысим – лед начнет таять.

Подобное явление происходит и при полимеризации. Конечно, температура равновесия для каждого мономера своя. Например, для формальдегида она равна примерно  $100^\circ\text{C}$ . Если температура ниже, то формальдегид полимеризуется, если выше – полиформальдегид разлагается на мономер.

В общем довольно просто: надо подобрать нужную температуру, на всякий случай пониже, и пусть мономеры полимеризуются на здоровье. Но постойте, это формальдегид такой послушный, другие мономеры можно выдерживать годами и никакого полимера не образуется. Или вот еще неясность: при равновесии в реакционном сосуде должны присутствовать и полимер, и мономер. Ну, а если мы уберем следы мономера, то полимер, что же – должен начать разлагаться? Что-то здесь не так. Придется нам отправить нашего синтетика на консультацию к специалисту по химической термодинамике. Послушаем их разговор.

**Химик:** Простите, но я не совсем понимаю, почему одни мономеры легко полимеризуются, а другие с трудом – ведь во всех случаях свободная энергия уменьшается, если температура подобрана правильно?

**Термодинамик:** Видите ли, термодинамика оценивает только вероятность того или иного события в данных условиях, а произойдет ли оно в действительности и с какой, так сказать, скоростью – это уже из области кинетики.

**Химик:** Мне все-таки не совсем ясно, почему полимер, если его выделить, промыть и высушить, должен разлагаться?

**Термодинамик:** Потому что равновесие между полимером и мономером нарушится. Полимер будет разлагаться до тех пор, пока вокруг него не накопится равновесная концентрация мономера, т.е. пока реакционная система вновь не придет в равновесие.

**Химик (с испугом):** Постойте, ведь я получил совсем немного полимера, пока мы с вами обсуждаем теорию, он может весь разложиться!

**Термодинамик (с иронией):** Конечно, спешите, уважаемый коллега. Впрочем, постойте. Вы уверены, что хорошо отмыли полимер от катализатора?

**Химик:** Да, да, конечно.

**Термодинамик:** Тогда у нас есть время обсудить еще некоторые детали. Дело в том, что хотя полимер в отсутствие мономера не устойчив с точки зрения термодинамики, это вовсе не означает, что он будет быстро разлагаться. Скорость разложения будет зависеть от множества причин, которые исследуют кинетики. Вот, например, следы катализатора могут вызвать быстрое разложение, поскольку катализатор может ускорять оба процесса – и полимеризацию, и разложение полимера. Все зависит от положения равновесия в системе.

**Химик:** Если я вас правильно понял, все пластмассы и другие синтетические полимеры мы применяем в неустойчивом, что ли, состоянии? В один прекрасный момент они могут развалиться у нас на глазах?

**Термодинамик:** Теоретически, да. Добавлю, что это справедливо и для природных полимеров. Возьмите реакции окисления. Термодинамически любые из них разрешены при обычных температурах. Воздуха вокруг достаточно. Что же мы видим? Одни вещества, например железо, окисляются с приличной скоростью. Другие, например полимерные покрытия, столь медленно, что проходят годы, прежде чем они разрушатся. Или вот золото – оно ведь очень устойчиво, это заметили еще наши далекие предки, а они едва ли разбирались в термодинамике. Та-

кое состояние, когда реакция термодинамически разрешена ( $\Delta G$  – отрицательно), но не происходит с заметной скоростью, мы называем метастабильным. Хотите еще пример? Мы с вами сами, уважаемый коллега, метастабильны по отношению к реакциям окисления, разложения и ко многим другим столь же неприятным процессам. Но ведь мы существуем и надеемся просуществовать еще некоторое время пусть в метастабильном состоянии, не так ли?

**Химик:** Все это очень интересно. Значит, для того чтобы стабилизировать полимер, я должен разобраться в кинетике его разложения? Для термодинамики все полимеры в обычных условиях нестабильны. Как-то трудно с этим сразу примириться. А если я хочу провести полимеризацию, то условия нужно согласовать не только с термодинамикой, но и кинетикой?

**Термодинамик:** Совершенно верно. Необходимо согласовать все вопросы с этими двумя капризными дамами.

### **Как стабилизировали полиформальдегид**

Синтетические полимеры очень сильно различаются по стабильности. Замечательно стоек тефлон (или фторопласт) – фторированный полиэтилен. У этого полимера все атомы водорода заменены на фтор. А вот полимер формальдегида доставил химикам очень много хлопот. Почему же этот полимер так легко разлагался и как же удалось его стабилизировать?

Большинство термопластов начинает разлагаться на воздухе при 240–300°С. Вообще-то, окисляться они начинают при более низких температурах, но это сравнительно медленный процесс. Во всяком случае эти полимеры можно расплавлять и формовать изделия без особых предосторожностей, а потом уже думать, как их стабилизировать.

Из теории следовало, что полимерная цепь, построенная из атомов углерода и кислорода, должна быть не менее прочной,

чем цепь, построенная из одного углерода – энергии связей между всеми этими атомами почти одинаковы. Но полимеры с углеродными цепями выдерживали нагревание до 300 °С, а полиформальдегид – нет. Термодинамики объяснили, что выше 100 °С полимер формальдегида разлагается, так сказать, на законных термодинамических основаниях. Помочь делу могли только кинетики.

Может быть все дело в остатках катализатора? Но сколько полимер ни промывали, его стабильность не увеличивалась.

Тогда может быть все дело «портил» кислород воздуха? Откачали воздух, заменили его инертным газом – аргоном и стали нагревать полимер. Снова разлагается, правда, медленнее.

Тогда может быть причина в длине полимерных макромолекул? Действительно, очень высокомолекулярный полимер разлагался медленнее, чем низкомолекулярный. Это уже была ниточка, потянув за которую, можно было попытаться распутать клубок.

Причина нестабильности – в концах полимерных макромолекул, – с уверенностью заявили кинетики. Там сидят гидроксильные группы ОН, вот они-то и отщепляются при нагревании. А дальше полимерная цепочка расстегивается подобно застежке «молния», и молекулы мономера «выскакивают» одна за другой.

Что же делать? Нужно заменить концевые группы на более стабильные! Химики-синтетики заменили концевые гидроксильные группы на эфирные. И полимер стал заметно стабильнее. Теперь в отсутствие кислорода он вел себя просто прилично: спокойно выдерживал нагревание до 220 °С. (Плавится полиформальдегид при 180 °С, так что появилась возможность формировать лабораторные образцы для испытаний механических свойств.)

Но как быть в промышленности? Перерабатывающие машины для пластмасс работают на воздухе. Для того чтобы его удалять, нужны сложные и дорогие приспособления – это невыгодно.

Пришлось химикам искать новые пути стабилизации. Удалось установить, что на воздухе полиформальдегид разлагается по другому закону. Полимерная цепочка рвется где-то посередине, и осколки начинают отщеплять молекулы формальдегида одну за другой. Все происходит, как с кирпичной кладкой насухо: стоит вынуть один кирпич – остальные можно вынуть один за другим.

Значит, нужно помешать кислороду рвать полимерные цепи. Для этого в материал стали добавлять специальные стабилизаторы. А если кислород успел разорвать цепочку? В ней нужно разместить на некотором расстоянии друг от друга такие звенья, которые не будут отщепляться и удержат в цепи соседние звенья формальдегида.

План операции был разработан кинетиками, а осуществлена она была синтетиками, которые подобрали нужные мономеры и условия сополимеризации формальдегида с ними. Общими усилиями с капризами полиформальдегида удалось сладить, и теперь его перерабатывают на стандартных машинах, там же, где и полиэтилен, полистирол и другие покладистые полимеры.

### **Кинетики и синтетики**

Итак, в этой истории укрощения полиформальдегида главными героями оказались кинетики. Что изучает кинетика? В любом учебнике физической химии написано, что кинетика изучает скорости и механизмы химических реакций. Основателем школы химической кинетики у нас в стране является академик Н. Н. Семенов. Сейчас кинетики занимаются не только химическими реакциями, но и физическими и биологическими процессами, горением и взрывами, даже пытаются лечить рак...

Кинетики работают на «два фронта». С одной стороны, они пытаются проанализировать механизмы сложных реакций, разделить их на стадии, чтобы установить их последовательность и влияние друг на друга. Здесь они соприкасаются с интереса-

ми химиков-синтетиков. С другой стороны, кинетики могут рассчитать, как лучше вести химические процессы в промышленности, чтобы повысить скорости реакций, увеличить выход продуктов, получить материалы с требуемой структурой. Здесь скрещиваются интересы кинетиков и технологов.

Значит, кинетики – желанные гости и у химиков, и у технологов? Они – то связующее звено, которое объединяет науку и технологию? И да, и нет. Отношения этих трех специалистов друг к другу весьма сложны и даже противоречивы. Химик мыслит качественно. Он пишет уравнения реакций, которые собирается осуществить, рассуждает об активности веществ: это более активно, а это менее. Если он подозревает существование примесей или промежуточных продуктов, то никогда не поверит в них, пока не увидит собственными глазами – выделит или установит специальным анализом.

Технолог мыслит материальными и тепловыми балансами, кубометрами и тоннами, технологическими схемами, насосами, мешалками, электромоторами. Частенько он не столь уж хорошо разбирается в механизме реакции, протекающей у него в аппарате, но сколько и чего подается в аппарат и сколько выгружается – это он знает отлично.

Кинетика насыщена математикой. Свои закономерности и выводы она излагает на языке дифференциальных и интегральных уравнений. Конечно, и химики, и технологи высшую математику изучали. Но в своей повседневной практике пользуются ею редко и основательно забывают. А кинетики с такой легкостью громоздят формулу на формулу, вычерчивают такие сложные зависимости, так непринужденно упоминают оператор Лапласа или дельта-функцию, что у бедного химика голова идет кругом.

В результате химики старой школы часто весьма подозрительно относятся к математическим «фокусам» коллег-кинетиков и, бывает даже, считают их наукообразием, украшательством, без которого можно обойтись.

Значит при изучении механизма процесса можно обойтись без кинетики? Можно, конечно, удовлетвориться качественными

ми объяснениями, но кинетический анализ даст более строгий результат.

Один известный ученый-кинетик полуслушя говорил: «Эти химики не понимают, что все их умозаключения о механизме мы можем «алгеброй проверить» и доказать их абсурдность. Правда, – добавлял он, – следует признать, что эти упрямцы довольно редко ошибаются».

Зато однажды на международном симпозиуме почтенный химик-органик старой закалки, выслушав кинетический доклад, насыщенный множеством формул, графиков, интегралами и логарифмами, поднялся на трибуну и сказал: «Все это я давно знаю и без математики – чем чище мономер, тем выше молекулярная масса образующегося полимера, чем больше концентрация мономера и выше температура, тем быстрее идет полимеризация. Можно прекрасно обойтись и без ваших интегралов».

«На самом деле Вы – стихийный кинетик; двадцать лет Вы говорите кинетической прозой и не подозреваете об этом», – улыбаясь ответил ему докладчик.

Он хотел сказать, что эмпирики часто используют на практике многие положения кинетики, но приближенно, без соответствующих вычислений. До какого-то уровня развития науки и техники это было допустимо. Но кто будет пахать сохой, если есть мощные тракторы? Когда нужно создавать крупные производства полимеров, когда каждый рубль, затраченный на их строительство, на учете, – разве можно производить расчеты «на пальцах», тратить время и средства на подбор режимов методом проб и ошибок? Нет, и химикам и технологам без кинетики не обойтись.

Наш химик осознал необходимость кинетических исследований. Посмотрим, как будет протекать его беседа со специалистом по кинетике.

**Х и м и к:** Интуитивно мне кажется, что мы уже выбрали оптимальные условия проведения полимеризации. Но все же я решил у вас проконсультироваться прежде, чем передавать наш отчет технологам.

**Кинетик:** Во-первых, термин «оптимальный», как-то уж очень часто стал применяться в химии и технологии. А ведь оптимум – величина математическая и требует доказательств. Во-вторых, серьезное кинетическое исследование в любом случае необходимо, если вы собираетесь разрабатывать технологию. Нам нужно получить исходные данные для построения математической модели процесса. Тогда мы сможем провести необходимые расчеты на ЭВМ.

**Химик:** Ах, так, тогда другое дело: я не знал, что вы собираетесь использовать ЭВМ. Кстати, я помню вы подробно говорили как-то о неоднородности полимеров. Мы измеряли вязкость нашего продукта, как будто все в порядке.

**Кинетик:** Но одной вязкости недостаточно. Нужно измерить различные средние молекулярные массы и оценить распределение по длинам цепей. Только тогда мы подойдем к вопросу о качестве с открытыми глазами.

**Химик:** Но раньше мы обходились одной вязкостью. И в обычной химии достаточно одной молекулярной массы. Почему же теперь для полимеров нужно проводить длительные и сложные измерения. Может быть это просто дань моде?

**Кинетик:** Я с удовольствием вам отвечу. Любое низкомолекулярное вещество состоит из молекул одинакового состава. Поэтому достаточно одной молекулярной массы. Любой полимер представляет собой смесь макромолекул различной длины, т.е. различной молекулярной массы. Я приведу простую аналогию: вам нужно охарактеризовать какой-нибудь порошкообразный материал, будь-то песок, соль или мука. Все ли частицы имеют одинаковые размеры?

**Химик:** Нет, конечно, они будут различаться.

**Кинетик:** Прекрасно. Как бы вы определили средний размер частиц?



**Химик:** Ну, я бы просеял порошок через набор сит с ячейками разного размера, т.е. разделил на фракции по размерам. Потом взвесил бы каждую фракцию и подсчитал средний размер частиц порошка.

**Кинетик:** Совершенно верно. Но можно ведь поступить и по-другому. Сосчитать общее число частиц в образце, а потом число частиц в каждой фракции. Теперь можно рассчитать среднее арифметическое: размеры фракций умножить на соответствующее число частиц и разделить на общее число частиц.

**Химик:** Конечно, можно и так, только считать частицы – дело трудоемкое.

**Кинетик:** Сейчас я не об этом. Скажите, средний размер частиц, определенный по первому и второму способу, будет одинаков?

**Химик:** Дайте подумать; нет, пожалуй, различен.

**Кинетик:** Конечно, в первом случае фракции маленьких и больших частиц давали одинаковый вклад, если масса фракций совпадала. А во втором случае значение имела не масса фракций, а число частиц в ней. Очевидно, что маленьких частиц будет намного больше, чем крупных, и они будут сильнее влиять на средний размер по сравнению с первым случаем.

**Химик:** Значит получается, что различные способы усреднения дадут разный средний размер?

**Кинетик:** Совершенно точно. Любой полидисперсный материал можно охарактеризовать набором средних величин, будь то порошок или образец полимера. Для полимеров мы первую среднюю молекулярную массу называем среднемассовой, вторую – среднечисловой. Существуют и другие способы усреднения, например по вязкости. Все эти средние массы совпадут только в одном случае: если вещество состоит из частиц или молекул одинакового размера.

**Химик:** Но как же раньше мы обходились одной вязкостью?

Кинетик: Пока требования к качеству полимеров были не очень высоки, достаточно было грубой оценки свойств. Сейчас стало совершенно очевидно, что различные свойства полимеров определяются различными средними молекулярными массами, а точнее формой кривой распределения по размерам макромолекул. Взгляните на этот рисунок, здесь приведены кривые распределения по размерам макромолекул для двух образцов полистирола. Вязкость у них одинакова. Как вы полагаете, свойства этих образцов совпадут?

Химик: Раньше я, не задумываясь, ответил бы «да». Теперь я в затруднении, что сказать, и главное, мне неясно, к какому же распределению нужно стремиться, чтобы улучшить свойства и как это сделать?



**Кинетик:** Это действительно сложная научная проблема. Можно вспомнить историю открытия монодисперсных, т.е. однородных полимеров.

**Химик:** Да, вспомнил, ведь все природные полимеры монодисперсны. Значит все дело в несовершенстве наших методов синтеза. Нужно стремиться к однородности полимеров, не так ли?

**Кинетик:** Видите ли, природа формирует изделия из полимеров, не прибегая к высоким давлениям, температурам. С текучестью расплавов сталкиваются, по-моему, только при извержении вулканов. Нам же приходится сначала расплавлять, потом продавливать и заполнять форму. Монодисперсные полимеры обладают хорошими механическими свойствами, но низкой текучестью.

**Химик:** Да, да, конечно, в расплавы всегда добавляют низкомолекулярные вещества – пластификаторы. Но вот каучуки с узким распределением должны обладать лучшими свойствами.

**Кинетик:** Безусловно, обычно их перерабатывают не в виде расплава. Это же относится к олигомерам. Но в других случаях мы должны рассчитывать наилучшее распределение. Оно не обязательно будет монодисперсным. Например, для получения хорошей пленки из полиэтилена нужно широкое распределение.

**Химик:** Наш разговор мне напомнил беседы доктора Ватсона с Шерлоком Холмсом, причем, я оказался в роли первого. Ну что ж, придется заняться изучением влияния распределения по размерам макромолекул на свойства моего полимера.

Наш химик почерпнул явно много ценного из разговора с кинетиком. Если кинетики обычно и не открывают новых реакций, то расшифровать их механизм, научиться рассчитывать параметры процесса, а иногда и ожидаемые характеристики продукта, подсказать технологам выбор вариантов – это их

прямая задача. Теперь, когда для химика ясен план дальнейших исследований, пора вплотную заняться проблемами технологии.

## **Технология – наука или изобретательство?**

В конце прошлого века считали, что между учеными и инженерами нет ничего общего. В те времена все было ясно: ученые изучали явления природы, искали им объяснения. Инженеры занимались техническими задачами, изобретали новые процессы и машины. Технология – это было занятие для инженеров и изобретателей-самоучек.

Заглянем в словарь иностранных слов: технология – это совокупность знаний о способах и средствах производства, а также сами процессы. Не очень вразумительно. Строже выглядит дословный перевод с древнегреческого: «техне» – искусство, ремесло, «логос» – понятие, учение. Получается: учение о ремесле или искусство ремесла.

### **Что говорят историки и поэты**

Слово это не ново в русском языке. Читаем у Даля: «Технология – наука техники, заводской, ремесленный, промышленный обиход. Техник, технолог – сведующий в науке этой (мы скажем – специалист).

Технология родилась давно, за много тысячелетий до того, как в Древней Греции появилась наука. Автору не удалось в точности установить, кто из олимпийских богов покровительствовал технологии, вероятнее всего это был Гефест (бог огня, покровитель кузнецов).

Не брезговала технологией и сама Афина Эргана (Работница), научившая людей делать колесницы, строить корабли, прясть и ткать. Попутно заметим, что Афине удавалось быть одновременно и покровительницей наук, таким образом, мудро

объединять в едином лице руководство и фундаментальной, и прикладной деятельностью человечества...

С древнейших времен и до нынешнего дня технологию держат в секрете. Будь то технология пурпура, фарфора, дамаской стали или маргарина, тартана или косметических средств,—все это надежно скрыто от взгляда непосвященных и конкурентов.

История технологии наполнена драматическими событиями. Сколько непризнанных гениев! Сколько секретов ушло в могилу вместе с их владельцами! А хранителям технологических секретов и в старые дни, и сейчас приходится нелегко. Помните, как сказано в балладе Стивенсона о тайне верескового меда (в переводе С. Маршака):

Гневно король промолвил:  
— Пытка обоих ждет,

Если не скажете, черти,  
Как вы готовили мед!

. . . . .  
А мне костер не страшен.  
Пусть со мной умрет  
Моя святая тайна—  
Мой вересковый мед!

В науке, казалось бы, нет и не может быть секретов, она не знает границ. Ученые стремятся как можно скорее опубликовать свои результаты, сделать их достоянием других. А как охотно они обмениваются идеями, методами, как охотно показывают свои лаборатории коллегам, как часто встречаются на конгрессах, конференциях, симпозиумах, семинарах и коллоквиумах.

Автору могут возразить, что так было не всегда. Жрецы древности отнюдь не пропагандировали свои знания, да и сейчас множество научных работ во всем мире засекречивается. Но это особый разговор, а для плодотворного развития научных идей жизненно необходимы контакты ученых, споры, ди-

скуссии, обмен идеями. Наука не терпит изоляции, ей тогда сразу же начинает грозить вырождение.

В технологии все не так. Зарубежные публикации по технологии (о наших – разговор отдельный) обычно бывают «с бородой». А еще чаще приходится иметь дело с рекламными проспектами фирм, где среди восторженных эпитетов, посвященных новому товару или машине, ни слова о том, как же они производятся.

### **О патентах и патентной политике**

Правда, среди инженеров-технологов в последние годы наметились контакты на международном уровне, но их встречи больше всего напоминают рауты дипломатов – много улыбок, но ничего по существу.

Первый патент был выдан в Англии во времена Шекспира. Что такое патент? Это – юридический документ, выдаваемый автору (или авторам) изобретения на исключительное право его использования в данной стране.

Заметьте, на научные идеи, открытия\*, исследования патенты не выдаются. Авторы доказывают свой приоритет исключительно путем полемики. В результате мы до сих пор обсуждаем, кто открыл дифференциальное счисление – Ньютон или Лейбниц. Фактически на авторство в любом научном открытии очень часто претендовали или претендуют несколько ученых.

При получении патента никого не волнует научная сторона дела. Сделано ли изобретение в результате длительных научных исследований или совершенно случайно, может ли автор объяснить его научную основу или нет, – неважно, главное, что

---

\* В СССР и ряде других стран на крупные научные открытия выдаются почетные дипломы, подтверждающие приоритет.

его можно применить для конкретных технических целей. За рубежом запатентовано решительно все – машины и детали к ним, синтетические полимеры, добавки к ним, способы их получения (т. е. технология), косметика, модная одежда и обувь, форма зубных щеток и детские игры, даже товарные и фабричные знаки и этикетки. Не патентуются только дары природы в необработанном виде.

Подчеркивая ненаучный характер патентов по технологии, во многих странах требуют, чтобы в описании присутствовала сакраментальная формула: «вопреки известным научным фактам неожиданно обнаружено».

Когда ученый публикует свою работу в научном журнале, то весьма редко он получает гонорар – некую чисто символическую плату, чаще ничего не получает, но и с него никто денег не требует (правда, за рубежом бывают случаи, когда публикацию автор осуществляет за свой счет).

За патент надо платить и платить много – сразу при получении и потом ежегодно в течение 10–17 лет, которые патент действует (в разных странах по-разному). Получить патент сложно – специальные эксперты тщательно проверяют – запатентовано ли подобное изобретение где-то за рубежом.

Зато патент можно купить и продать. За некоторые патенты покупатели платят миллионы долларов. Кто? Государства или фирмы, желающие использовать у себя данное изобретение на правах полного хозяина.

Патентное право исторически противопоставляет науку эмпирической технологии – изобретательству. Характерно, что в патентном законодательстве всех стран констатируется положение: патент не выдается, если его суть была опубликована (раскрыта) в научных публикациях, на научных конгрессах, выставках и т. п.

## А. Эйнштейн об изобретениях

Очень интересны высказывания об изобретателях и изобретательстве великого физика XX века Альберта Эйнштейна. В начале своей карьеры он 8 лет проработал экспертом в Федеральном патентном бюро в Берне, получил в соавторстве с Л. Сцилардом (впоследствии ставшим крупным физиком) несколько патентов на холодильные машины, вместе с П. Гибихтом сконструировал очень точный прибор, измеряющий напряжение с точностью до 0,0005 В.

По роду своей работы А. Эйнштейн вынужден был знакомиться с большим числом технологических рецептов, усовершенствованных конструкций и других технических решений, составляющих материал патентных заявок. Досаждали ему и «толпы фанатиков-иллюзионистов», среди которых было не легко выделить настоящего изобретателя.

По просьбе советского журнала «Изобретатель» А. Эйнштейн в 1928 г. написал для него небольшую статью, которая была опубликована в первом номере журнала за 1929 г., а недавно перепечатана журналом «Техника и наука» (№3, 1979 г.). В этой статье, не потерявшей своей актуальности за прошедшие годы, великий физик дает несколько определений сущности изобретательской деятельности:

«Изобретателем я считаю человека, нашедшего новую комбинацию уже известных технических элементов для наиболее экономного удовлетворения человеческих потребностей». И дальше: «Изобрести – это значит увеличить числитель в следующей дроби: произведенные товары/затраченный труд».

А. Эйнштейн считал способность к изобретательству («способность к свободной и комбинационной мысли») прирожденной.

Итак, технология основана на изобретательстве; это не наука? Не спешите с выводами! До наступления НТР большинство инженерных изобретений действительно делалось без серьезной научной проработки. Получалось, что инженеры, изобретатели вспахивали целину, а потом приходили ученые



и пытались объяснить, что, как и почему. Вообще-то, подобная ситуация имеет место и в наше время. Множество научных статей начинается с заявления, что де данное явление было впервые описано в патентной литературе (подразумевается, что оно не было научно исследовано), а теперь получило должное научное объяснение. Но сейчас бурно развивается и встречный процесс.

Что такое НТР – научно-техническая революция? Наука накопила такие обширные знания во многих областях, что стала вытеснять эмпирический подход к технологии. Теперь изобретения чаще всего рождаются в результате планомерных научных исследований. Именно наука, а не одиночки-изобретатели, определяют лицо сегодняшней технологии.

Тогда может быть настала пора отказаться от патентной службы? Оказывается нет, даже наоборот – она укрепляется. В США зарегистрировано более 3 миллионов патентов, в Англии и Франции – больше миллиона, у нас в стране более 600 тысяч.

### **Коммерческий подход к технологии**

Вот как руководители крупных иностранных фирм с годовым оборотом в миллиарды долларов в частных беседах рассказывают о стратегии научно-технологических разработок. Когда интерес фирмы сконцентрирован на каком-то новом продукте, допустим полимере, то первые несколько лет ведется сбор научной информации. Эта стадия работ открыта, ее ведут ученые.

Фундаментальные исследования заказываются университетам, все результаты обычно публикуются\*. Но вот специа-

---

\* Есть и исключения – некоторые фирмы (например, «Дау Кемикл») ничего не публикуют из своих исследований, даже теоретические расчеты.

листы-технологи накопили достаточный материал для организации технологических разработок. Только теперь все работы засекречиваются. Когда удастся наладить опытное производство продукта, заявляются патенты, защищающие приоритет фирмы на способ производства и новый материал. Фирма разворачивает промышленное производство и стремится получить максимальную выгоду на рынке. Одновременно она предлагает конкурентам купить патенты и лицензию на право производства этого продукта. Примерно через 5–7 лет завеса секретности спадает.

Во-первых, конкуренты тщательно изучают патенты фирмы и ищут обходные пути (в большинстве случаев, как это было и с полиформальдегидом, обходные маневры удаются).

Во-вторых, ученые, не связанные с фирмой, раскрывают ее секреты – это разрешается. Наконец, происходит просто утечка информации. Очень долго сохранить технологические секреты в наше время почти никому не удастся. Вспомните историю атомной бомбы.

Современная патентная война не менее увлекательна, чем любые детективные истории. Ведется она в стенах университетов и научных центров, в проектных институтах, патентных бюро и... в судах.

### **Наша патентная политика**

В этом месте читатель может воскликнуть: «Ну хорошо, при капитализме технологию скрывают, продают, крадут. А нам-то это зачем? При социализме нет конкуренции: у нас все принадлежит народу. Зачем нам патенты? Пусть ученые и другие трудящиеся изобретают всякие нужные вещи. Выдать им красивые дипломы и премии, чтоб гордились и были материально заинтересованы, и давайте производить побольше этих нужных вещей».

У нас Государственный комитет регистрирует изобретения (и даже научные открытия, чтобы научный приоритет не уплывал за рубеж), выдает авторские свидетельства. Потом рассылает эти изобретения по соответствующим министерствам и ведомствам – знакомьтесь, дорогие товарищи, внедряйте в производство. И денег никаких не надо. Если внедрите и получите экономический эффект, то тогда авторам, конечно, положена премия. Даже до 20 тысяч можно получить за крупную разработку. Да за содействие внедрению специалистам тоже полагается премия. Так что принцип материальной заинтересованности действует. Зачем нам производственные секреты? У нас наоборот поощряется обмен опытом между предприятиями. Но мы ведем с капиталистами торговлю, а значит должны учитывать сложившиеся международные отношения. Раньше этому факту не придавали значение. Торговали мы с капиталистами мало, продавали в основном сырье, а на него патентное право не распространяется. И что же получилось?

Наши ученые и инженеры подробнейшим образом описывали свои технологические разработки в отечественных книгах и журналах. А специалисты за рубежом тщательнейшим образом все это переводили, изучали и... патентовали! И не только наживали капитал, но еще и нам же потом продавали втридорога.

Между тем технические идеи, приемы, методы, т. е. то, что составляет технологию и на международном жаргоне называется «ноу хау» (по-английски: «знать как»), ценится в твердой валюте и ценится очень высоко. Из-за утечки технической информации наше государство, т. е. мы с вами, терпели не раз значительный ущерб. Именно поэтому правилами «патентной игры» нужно овладеть. Сейчас у нас в каждой научной организации эксперты проверяют статьи, рукописи – нет ли там информации, представляющей технический интерес. Если есть, авторам предлагают направить заявку на изобретение. Публиковать работу можно потом, сначала нужно заявить приоритет нашей страны.

У читателя этих строк может возникнуть и такой вопрос: раз уж современной науке по плечу задачи огромной сложности, то почему бы ученым не раскрыть все технологические секреты и не лишить капиталистов возможности обогащаться за счет патентов и лицензий? Ведь если посадить сто самых лучших ученых, то они в любой технологии разберутся. А у нас наукой занимается уже более миллиона человек – неужели этой армии недостаточно?

Крупным ученым не раз приходилось браться за раскрытие технологических секретов. Известно, что Д. И. Менделеев помог в расшифровке секрета производства бездымного пороха, принадлежавшего в то время немцам и тщательно ими оберегавшегося. При этом он действовал и как ученый, и как технолог, и как детектив: чтобы убедиться в правильности своей рецептуры, он проверил опись всех железнодорожных составов, прибывавших на немецкий пороховой завод...

Известно, что наши крупнейшие ученые приняли участие в разработке технологии обогащения урана, поскольку обладатели секрета отнюдь не горели желанием им поделиться.

Современная наука в состоянии раскрыть секрет древнего пурпура, дамасской стали и косметических кремов, но...

Сколько технических секретов накопило человечество и продолжает накапливать ежедневно? А сколько технических задач существует и ежедневно возникает? Где взять столько ученых? Если все человечество превратить в профессоров, докторов и кандидатов наук, может быть тогда осилим?

Нет, для изобретателей, рационализаторов остается широчайшее поле деятельности.

Возвращаясь к названию этого раздела, можно так сформулировать ответ на поставленный вопрос.

Современная химическая технология базируется на научных данных, но описание конкретного технологического процесса всегда включает в себя большое число данных, полученных опытным путем, ряд изобретений и приемов, которые

в данный момент не могут быть строго научно обоснованы, но представляют несомненную пользу для конкретного процесса.

По мере дальнейшего развития научных основ технологии все большее число фактов получает научное объяснение, но вряд ли наступит когда-нибудь время полного отмирания изобретательства в технологии, изобретательства в смысле остроумной догадки, неожиданной комбинации, оригинального решения, интуиции, искусства, если хотите ...

### **Где кончается наука и начинается технология**

Пока наш химик увлеченно работал в лаборатории над получением и изучением свойств нового полимера, его скорее всего, не очень мучили проблемы экономического, юридического и даже социального характера, затронутые в предыдущем разделе. Он добросовестно вел рабочий журнал, куда записывал результаты эксперимента, готовил научные публикации, выступал на семинарах перед коллегами.

Когда все изменилось? Может быть, когда патентовед, просматривая очередную статью, подготовленную для публикации в трудах научной конференции, обратил внимание на техническую ценность работы? Или это был руководитель? Или коллеги после семинара дружно решили, что эта работа осчастливит промышленность? Наш ученый мог поделиться результатами с другом-инженером. На помощь могли придти родственники, связанные с производством (бывает и так). Наконец, все могло быть по-другому. Поисковая научная работа могла быть заказана нашему химику официально.

В любом случае наступает момент, когда научная работа должна покинуть стены лаборатории, чтобы начать новую жизнь — превратиться в технологическую разработку. К своей работе наш химик привлекал коллег-ученых, так что достигнутый им результат справедливо назвать коллективным. На этой стадии работы число коллег обычно невелико: если чита-

тель заглянет в какой-нибудь специальный научный журнал вроде «Высокомолекулярные соединения», «Пластические массы», «Химические волокна» или другие, то увидит, что число авторов обычно не превышает 3–5 человек.

Созданием технологии обычно занимаются большие коллективы, целые научно-исследовательские институты (НИИ), специальные конструкторско-технологические бюро (СКТБ), научно-производственные объединения (НПО). Сказанное вовсе не означает, что в этих коллективах берут «готовую науку» со стороны и превращают ее в технологию. Как раз наоборот, большинство исследований, связанных с промышленностью, проводится именно в этих организациях. По некоторым причинам, анализ которых выходит за рамки этой книги, поисковые работы, выполненные «на стороне», должны преодолеть ряд преград (иногда весьма сложных, чтобы попасть в план технологических разработок.

Но будем считать, что все сложилось удачно, и наша работа попала в план. Первая остановка на пути создания технологии – опытная установка, туда мы и направимся.

---

# ОПЫТНАЯ УСТАНОВКА

ЧТО ТАКОЕ ОПЫТНАЯ УСТАНОВКА	86
Полимер, из колбы шагнувший в производство	88
Встреча с технологами	89
Технолог против компьютера	94
ОПЫТНУЮ УСТАНОВКУ ПРОЕКТИРУЮТ, КОНСТРУИРУЮТ И ЗАПУСКАЮТ В РАБОТУ	97
Есть ли время подумать у работников опытной установки	98
В работу включаются механики	100
История «вымораживателя»	104
АППАРАТЧИКИ, МЕХАНИКИ, ЛАБОРАНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОТРАСЛИ	113
Куда девался газ?	118
Сколько стоит продукция опытной установки	122
Страсть к переделкам	124
Визит именитого ученого	128
О парадоксе технологии	128
Визит математика	131
«Спасение утопающих—дело рук самих утопающих»	132
	135

## Опытная установка

*В предыдущих главах мы узнали, что такое технология и почему, получив полимер в колбе, нельзя сразу же построить завод. В этой главе мы познакомимся с теми, кто работает на опытных установках, и узнаем, почему для работы на них нужны крепкие нервы.*

### Что такое опытная установка

Итак, химик-синтетик получил в колбе первые образцы нового полимера. Сделаны нужные анализы, отпрессованы образцы для испытаний. Пока химик возился с полимером – промывал его, сушил, – это был просто белый порошок\*. Но когда им заполнили пресс-форму и получили молочно-белые, твердые, прочные диски, – это уже материал, нечто вполне вещественное.

---

\* Конечно, полимер конкретного типа может быть получен и в виде раствора, и в виде блока, иметь другой цвет или быть бесцветным.



Нашего химика переполняют чувства творца, создателя. Хотя в руках у него всего только несколько образцов для испытаний, наступает пора мечтаний и смелых прогнозов. А вдруг новому полимеру предстоит огромное будущее? Посмотрите, какой он прочный, гибкий, какая приятная на ощупь поверхность. Из него можно будет изготовить массу полезных и красивых вещей.

И воображение рисует химику картины, одну ярче другой... Шестерни и зубчатые колеса из нового материала совершают переворот в технике. Плафоны, настольные лампы, изящной формы выключатели и футляры для электроприборов, телефонные аппараты, часы.

Дальше – больше: если прочность и жесткость нового материала будут высоки, то почему бы из него не изготовить детские велосипеды, легкие, прочные, вместо тех грубых железных коней, что и родителям поднять не под силу. Или детские коляски. Сколько же потребуется материала? Тысячи, нет десятки тысяч тонн в год. Это же огромное производство!

А вдруг прочность материала будет столь высока, что из него можно будет делать корпуса автомобилей. Это же давняя мечта тех, кто занимается полимерами. Правда, корпуса пытаются сделать из стеклопластика. Рекламные образцы пластмассовых автомобилей кочуют с одной химической выставки на другую. Говорят, что в ГДР наладили выпуск малолиitraжных автомобилей из стеклопластика\*, изготовляют из него и кабины грузовиков, но в основном пока автомобили делают из железа.

Или вот трубы, краны, разные муфты, фитинги. Да, конечно, сейчас их уже делают из полиэтилена. Но сколько с ним мучений – мягок, недостаточно прочен. И, спускаясь на землю,

---

\* Легковой автомобиль «Трабант» – самый популярный в ГДР – имеет кузов из стеклопластика.

химик мрачно вспоминает, что дома в ванной краны текут, резьба на полиэтиленовых трубах сорвана, да и вообще дотронуться страшно. И слесарь-сантехник ругает этот «политилен» на чем свет стоит, так что и признаться в своей специальности неудобно становится.

### Полимер, из колбы шагнувший в производство

Ну что же, пожелаем нашему химику удачи. Его мечты не столь уж фантастичны. В 1955 г. профессор Д. Натта, будущий Нобелевский лауреат, синтезировал в Милане новый полимер из пропилена. Пропилен – ближайший родственник этилена, отличается только наличием метильной группы  $\text{CH}_3$  :



Многие исследователи пытались получить высокомолекулярный полимер из пропилена. Применяли и высокие, и низкие давления, но неудачно: или получался низкомолекулярный олигомер, или полипропилен с нерегулярной структурой, обладающий низким качеством.

Профессор Д. Натта применил для синтеза полипропилена новые катализаторы, аналогичные тем, которые К. Циглер разработал для получения полиэтилена при низком давлении. И добился успеха. Свойства полипропилена с регулярной структурой макромолекул (*стереорегулярной* на языке химиков) оказались очень ценными: он легче любого пластика и прочнее полиэтилена. Из него не удалось сделать велосипеды и корпуса автомобилей, но областей для применения нового пластика оказалось более, чем достаточно. И вот всего за 15 лет – срок рекордно короткий для технологии полимеров – полипропилен совершил победоносное шествие из стеклянной колбы профессора Д. Натта до пластика №4 в мировом про-

изводстве пластмасс (после полиэтилена, поливинилхлорида и полистирола). А если верить прогнозам, то еще через 15 лет полипропилен может выйти и на первое место.

Значит, мечтать можно. А пока нужно повторять опыты, проводить анализы, испытания образцов. Когда первые результаты подтвердятся, можно докладывать их начальству и пытаться заразить его (начальство) энтузиазмом, нарисовав ему захватывающие картины будущего.

Руководители исследовательских лабораторий, занимающихся синтезом полимеров, обычно не заражены скептицизмом. Фантастические картины успеха новых полимеров способны волновать кровь даже самых выдержанных руководителей. Наука о полимерах молода, от нее еще многого можно ожидать.

### **Встреча с технологами**

Проходит еще несколько месяцев напряженной работы, и вот на столе у начальника лежит отчет. В нем тщательно описано, как проводился эксперимент в колбе, как очищались исходные вещества, как обрабатывался полимер. В общем все секреты. Теперь пора приглашать технологов.

Зачем? Дело в том, что у химиков в руках граммы, в лучшем случае – сотни граммов нового полимера. А для того чтобы всесторонне изучить свойства материала, научиться формовать изделия, испытать их, найти наилучшие области применения, нужны сотни килограммов, тонны. Их в лаборатории не наготовить, даже если посвятить этому всю жизнь.

Нужно создавать опытную установку и на ней нарабатывать продукт. Опытной установка называется потому, что на ней придется проводить опыты, прежде чем будет отработана технология получения продукта нужного качества. А раз будут опыты, то могут быть и неудачи, даже обязательно будут. Будет бракованный продукт, будут неполадки в работе оборудования. Аппараты придется ежедневно разбирать, чистить и снова собирать, а то и вовсе реконструировать.

Наш химик через все это прошел. Целые годы он разбирал, чистил, собирал, анализировал. Но в лаборатории исследова-

тель имеет дело со стеклом, редко с металлом; его аппаратура помещается на лабораторном столе. Теперь же речь идет о больших металлических аппаратах. Это совершенно иной мир со своими особыми законами. Мощный гул двигателей, шипение пара, сложные изгибы изолированных трубопроводов... Как это не похоже на уютный белоснежный мир лаборатории!

Прежде чем разбираться в специфике опытных работ, послушаем, о чем будут беседовать химики и технологи. В их разговоре будет много специальных терминов и просто жаргонных словечек, которые так любят употреблять специалисты, но постараемся проследить за основной мыслью.

Вот они собрались в лаборатории за столом. Химик – чаще всего это женщина (кажется, более 70% химиков – это женщины) в белом халате, вид (как пометил бы автор пьесы) несколько восторженный. Руководитель научной лаборатории – чаще мужчина, тоже в белом халате, вид сочувственно заинтересованный. Технологи – их двое. Старший – начальник опытного цеха или технологической лаборатории. По темпераменту явный холерик, манеры решительные, тон уверенный. Младший – инженер-технолог, вид задумчиво-скептический. Оба в серых или синих халатах, у младшего со следами масляных пятен. Оба курят.

**Химик:** Ну вот, я вам все рассказала и показала. Лабораторная установка простенькая, эксперимент, в общем, несложный. Моя лаборантка научилась все делать за два месяца.

**Ст. технолог:** И это вы называете простым экспериментом! Посмотрите, вы растворитель сушите от влаги металлическим натрием\*. Разве мы в цех сможем сунуться с на-

---

\* Это обычный лабораторный прием осушки органических жидкостей, содержащих следы влаги. Если влаги много, то при контакте с натрием произойдет взрыв. В промышленности этот способ не применяется.

трием? У нас тотчас все взлетит на воздух. А вам подавай влажность 0,001%. Как мы ее получим? Нет уж, давайте договоримся так: у нас есть ректификационная колонна\*, в цехе мы можем дать вам влажность 0,01%, а вы как хотите.

**Химик (все еще с улыбкой):** Нет, нет, 0,01% никак не годится: уменьшится молекулярная масса продукта. Нужно обязательно 0,001% или 0,002, наконец.

**Ст. технолог:** Поймите, вы должны пойти на компромисс, иначе никакой технологии не получится. Или вот вакуум. Вы откачиваете воздух до давления 1 мм рт.ст.? Такого вакуума в природе нет, т. е. у вас он может и есть, но, поймите, в производстве это невозможно—100 мм остаточных—это еще реально...

**Химик (в испуге):** Но при таком давлении мы испортим катализатор!

**Ст. технолог (не обращая внимания):** Так, у вас тут одна колба и четыре операции. Нам придется поставить четыре аппарата и еще, пожалуй, пятый для резерва. У меня есть на примете один аппарат. Мы его пытались уже приспособить для сушки, но он не подошел. Попробуем сделать из него реактор\*\*. Итак, мне все ясно. Вы срочно проверяете влияние влажности 0,01% и давления 100 мм рт. ст. остаточных. Еще попробуйте не перемешивать смесь во время реакции—что будет? Да, совсем забыл: полимер ведь нерастворим, значит образует суспензию? Проверьте, как он стекает по наклонной трубке, сколько

---

\* Ректификационная колонна—лабораторный и промышленный аппарат для разделения жидких смесей.

\*\* Химический реактор—аппарат, в котором протекает собственно химическая реакция; вспомогательное оборудование—все другие аппараты и машины для транспортирования, хранения, сушки, фильтрации и т. д.

в нем жидкости. Мой технолог подготовит вам дополнительные вопросы.

М л. т е х н о л о г (*меланхолично*): Шеф, у меня создалось впечатление, что мономер полимеризуется на стенках колбы и на подводящих трубах.

Химик (*в испуге*): Нет, нет! Совсем не полимеризуется. Тонкий налет за время опыта.

Оба т е х н о л о г а (*вместе*): Что она говорит, тонкий налет! У вас опыт идет 40 минут, а у нас за сутки знаете какой слой полимера везде нарастет? Да его ломом не отобьешь, и все оборудование потом обжигать на горне надо.

Руководитель (*успокаивающе*): Но ведь насколько мне известно, многие мономеры полимеризуются на стенках аппаратуры. Наверное существуют специальные методы очистки. Например, можно промыть соляной кислотой и полимер разложится.

С т. т е х н о л о г (*мрачно*): И наше оборудование тоже. Что же прикажете из молибденовой стали все делать или может быть эмалировать? Ваша установка влетит нам в миллион. Придется все трубы и вводы в аппараты делать разборными, обогревать паром через рубашку...

М л. т е х н о л о г (*меланхолично*): И пар будет вечно попадать внутрь аппаратов, а мы будем бесконечно искать неплотности. Лучше сделать какие-нибудь прочистки с ручками: забьется труба – подошел, прочистил; дешево и сердито.

С т. т е х н о л о г (*саркастично*): Если нарастет полимер, то никакая прочистка не поможет. Это надо чемпиона мира по штанге иметь в каждой смене. (Все мрачно задумываются.)

С т. т е х н о л о г (*решиительно*): Придется отказаться от газообразного мономера, мы этот вариант не осилим. Давайте мономер в чем-нибудь растворим и в таком виде подадим в реактор. Тогда все трудности сами собой отпадут.

Химик (*в испуге*): Но это совсем другой процесс! Надо все начинать изучать заново.

Ст. технолог: Вы хотите иметь технологию? Тогда сделайте то, что я говорю.

Не правда ли, приведенный выше разговор драматичен: так и просится на сцену или в производственный фильм? Но ведь автор еще в предисловии предупреждал, что создание технологического процесса есть драма, драма идей и характеров, которая обычно скрыта от постороннего взгляда.

Подведем некоторые итоги.

1. Задачи химика-исследователя и технолога, приемы и методы, ими применяемые, часто не совпадают. Задача химика – разведка путей синтеза материала, исследование механизма синтеза. Он может часами сушить свои реактивы, использовать самые тонкие лабораторные методы. Ему важно разобраться в том, что происходит в его колбе, выделить и проанализировать продукт. И он будет подолгу промывать полимер различными растворителями, растворять, выделять и очищать его.

2. Цель технолога в другом. Его обычно не очень интересует механизм реакции, но ему важно провести ее так, чтобы максимальный выход продукта получить за минимальное время. Кроме того, затраты на вспомогательные операции должны быть сведены к минимуму, иначе стоимость продукта резко возрастает.

Именно по этим причинам стадия перехода от лаборатории на опытную установку протекает зачастую весьма болезненно. Очень многое зависит от опыта, интуиции, знаний технолога. Внимательно изучая, как проводились эксперименты в лаборатории, технолог пытается перевести полученную информацию на свой технологический язык, язык металлических аппаратов и конструкций. Неопытный, неуверенный в себе технолог пытается рабски копировать аппаратуру и приемы, разработанные в лаборатории. Но копирование не дает ожидаемого эффекта. Действительно, очень часто вариант, разработанный в лаборатории, при опытной проверке оказывается малоэффективным.

Технолог, как шахматный гроссмейстер, должен просчитать множество вариантов технологических схем, т.е. последовательностей аппаратов и связи между ними, прежде, чем он остановится на самой эффективной.

### **Технолог против компьютера**

Почему бы не заменить технолога компьютером? Записать на перфокарты весь технологический опыт и не одного, а множества технологов и заставить машину просчитывать технологические схемы. Уж, наверное, компьютер справится с выбором вариантов лучше, чем самый выдающийся технолог с 40-летним стажем работы.

Да, такие работы ведутся. Подробно мы поговорим о них дальше, а пока только отметим, с какими принципиальными трудностями связано применение компьютеров. Пока (автор подчеркивает, что именно пока) компьютер оказывает большую помощь технологу, но не способен его полностью заменить. Почему?

Рассмотрим процесс полимеризации стирола. Механизм его предельно прост: жидкий стирол нагревают и он полимеризуется, выделяя тепло и образуя полистирол, растворимый в мономере. В лаборатории реакцию ведут в колбе или стеклянной ампуле многие часы, чтобы довести ее до конца. Подобные процессы в промышленности проводят непрерывно в каскаде (цепочке) последовательно соединенных аппаратов, работающих при различных температурах.

Допустим, мы с помощью компьютера захотели выбрать наилучший вариант конфигурации аппаратов, наилучшие температурные режимы в каждом из них. Общее число возможных вариантов оказывается столь велико, что самые быстродействующие компьютеры не справляются.

Вот почему опыт и интуиция технолога ценятся столь высоко. Все же, чтобы у читателя не возникло представление, что технолог – это какой-то сверхчеловек, приведем некоторые смягчающие обстоятельства.



*Обстоятельство первое.* Решение при выборе технологической схемы опытной установки может быть многозначным. Это означает, что вполне жизнеспособными могут быть несколько вариантов. Так и происходит в действительности. Практически все существующие полимеры производят по нескольким различным технологическим схемам. Например, для получения полистирола в промышленности используют различные схемы соединения аппаратов в цепочки: два, три, четыре последовательно или параллельно-последовательно соединенных аппарата различных типов.

*Обстоятельство второе.* Представим себе, что две группы исследователей и технологов независимо друг от друга работают над одной и той же проблемой (ситуация весьма обычная в любой области науки и техники). Допустим, обе группы остановились на одной и той же принципиальной схеме опытной установки. Если через некоторое время сравнить результаты, достигнутые обеими группами, то они, наверняка, окажутся различными. Бывает и так, что заведомо более сложную, громоздкую опытную установку в одном месте удастся отработать лучше, чем более простую и рациональную в другом.

Подобный исход соревнования может быть обусловлен множеством причин, в том числе и случайных. Но особенно большое значение имеет квалификация, опыт работы коллектива инженеров, техников, рабочих-аппаратчиков, механиков и слесарей, обслуживающих опытную установку.

*Обстоятельство третье.* Бывает, что инженеры-технологи при выборе схемы опытной установки допускают ошибки. Оборудование для установки смонтировано, персонал приступил к работе. Опыты ставят один за другим, инженеры-технологи совместно с химиками-исследователями анализируют результаты. В технологическую схему вносят изменения и усовершенствования; температуру, давление, концентрации реагентов варьируют во всем возможном интервале, а нужных результатов нет.

Вот, где проверяются интуиция, воля, уверенность в себе руководителя опытных работ. Можно настаивать на продолже-

нии опытов, полагая, что терпение будет вознаграждено, а трудности преодолены. Можно принять драматическое решение, что технологическая схема никуда не годится, нужно все ломать и монтировать новую установку.

Опыт со всей неумолимостью свидетельствует о том, что второе решение обычно принимает ... новый руководитель опытных работ.

Разобрать (демонтировать) опытную установку, как это ни странно, часто сложнее, чем собрать (смонтировать). Когда химик ставил свои опыты, в лаборатории в стеклянной колбе, ему помогали один-два сотрудника или лаборанта. Разбитые колбы заменяли новыми (при условии хороших взаимоотношений со стеклодувами). Переделывая свою стеклянную установку, исследователь ни перед кем не отчитывается. Все операции по подготовке аппаратуры органически входят в план исследовательских работ.

Если вы откроете какой-либо научный химический журнал и просмотрите несколько статей, то окажется, что про свои «технологические схемы», т. е. про оборудование, используемое при опытах, химики пишут исключительно сжато: буквально несколько слов. Если бы химик попытался подробно описать, как он крепил колбы, как подгонял к ним пробки, как мучился с термостатом\*, возможно это и вызвало бы оживление в редакции журнала, но редактор неумолимо бы вычеркнул это место. Для исследователя подготовка аппаратуры – вспомогательная операция и не более того.

В создание опытной установки вкладываются немалые средства, ее конструируют, монтируют, эксплуатируют специалисты различного профиля. Технолог (если дать ему такую возможность) будет говорить и писать об этом бесконечно. Для него это один из основных элементов работы.

---

\* Термостат – прибор для поддержания заданной температуры в лабораторном аппарате.

## **Опытную установку проектируют, конструируют и запускают в работу**

Мы оставили нашего химика за неприятным разговором с технологами. Таких встреч будет несколько, пока технологи не проникнутся идеей нового процесса, не выберут и не обогнут вариант технологической схемы. До этого они будут снова и снова вчитываться в строчки научного отчета, составленного химиком, рассматривать графики и задавать сотни вопросов.

Большинство из них будет для химика неожиданными:

– Вот вы сушите свою колбу от влаги, пропуская через нее горячий азот. А можно ее просто промыть растворителем?

– Конечно, мы так и делаем. Сначала сушим один час азотом, затем промываем растворителем несколько раз.

– Нет, это не пойдет – очень дорого получится. А нельзя вообще не сушить?

– Нельзя – мы ведь уже говорили: катализатор разложится.

– А если мы дадим избыток катализатора, чтобы часть его разложилась, но очистила бы нам реактор от влаги? Вы это проверяли?

– Нет, не проверяли. В принципе, так, наверное, можно, но, впрочем, не знаем. Вдруг вспышка произойдет?

– А вы проверьте!

Обычно исследователю приходится ставить все новые и новые опыты, чтобы удовлетворить интерес технолога.

Но вот, наконец, технологам становится ясной задача, и они приступают к конструированию опытной установки. Сначала рисуют принципиальную технологическую схему. Это – последовательность основных аппаратов, в которых будет идти процесс от момента загрузки сырья до получения готового продукта.

Далее нужно на схеме показать линиями, как аппараты будут связаны между собой. При этом предусматриваются все мыслимые и немыслимые варианты, так как пока еще трудно предсказать, какие потребуются операции.

На первой стадии обсуждения схемы действующие лица меняются местами. Теперь технологи должны убедить исследователей и руководителей в обоснованности выбранного ими варианта. Аргументы должны быть вескими, высоко ценится логичность (схема должна быть логически непротиворечива; например, трудно доказать, что высоковязкий раствор полимера потечет по трубе под действием собственной тяжести\* или что мономер, способный к самопроизвольной полимеризации, не заполимеризуется и не забьет трубопроводы) и уверенность в себе («а я абсолютно уверен, что раствор потечет» или «я ручаюсь, что труба не забьется»).

### **Есть ли время подумать у работников опытной установки**

Но вот принципиальная схема установки утверждена. Теперь нужно решить важный вопрос: какую установку проектировать – большую или маленькую? Раньше мы уже обсуждали трудности увеличения объема химического оборудования. Самый надежный путь – постепенное, шаг за шагом изменение объема аппаратуры. Но это же займет массу времени и средств. Как быть?

В технологии выработаны пути решения подобных задач. Если новый полимерный материал представляет собой модификацию известного и способ его получения отличается незначительно, то можно использовать уже известные инженерные решения, и это придает технологам смелость.

Самая сложная задача – разработка принципиально нового технологического процесса. Здесь лучше действовать медленно, но верно. Сначала по лабораторным данным конструируют маленькую *пилотную* установку с объемом реактора в несколь-

---

\* Обеспечение свободного перетекания жидкости – одна из самых мучительных проблем при конструировании опытных установок.

ко литров. Затем создают *камеральную* установку с объемом реактора в несколько десятков литров. Иногда приходится создавать еще укрупненную опытную установку.

Чем меньше установка, тем легче на ней работать, меньше нужно персонала для ее обслуживания. В лаборатории, если исследователю нужно обдумать результаты, он всегда может на некоторое время прервать эксперименты и засесть в библиотеку. На опытных установках работу большей частью организуют в две-три смены. Их обслуживает несколько десятков человек. Чем крупнее установка, тем больше обслуживающего персонала. Здесь уже нельзя прервать работы и углубиться в размышления. Руководитель должен обеспечить высокий темп работы, решения должны приниматься оперативно. На библиотеку обычно времени не хватает.

Еще один сложный вопрос: каким делать процесс – периодическим или непрерывным?

Конечно, по периодическому режиму работать легче, оборудование нужно попроще и подешевле. Но производительность ниже, а главное, продукт получается неоднородным от опыта к опыту. Вот если бы пилотную установку сделать периодической, а укрупненную (когда технологический процесс будет хорошо отработан) – непрерывной. Но сам переход от периодического процесса к непрерывному часто вызывает принципиальные затруднения.

Взвесив все «за» и «против», руководитель разработки принимает решение:

1) создать сразу камеральную установку с объемом реактора 100 л;

2) сконструировать ее для полунепрерывной работы.

Второе решение делает честь сообразительности руководителя, так как полунепрерывный режим предполагает возможность перехода и к периодическому, и к непрерывному. К сожалению, далеко не в каждом случае удастся принять компромиссное решение.

Теперь пора от принципиальной технологической схемы переходить к рабочей. Нужно «подобрать» конструкции аппа-

ратов. В схему любой опытной установки входят несколько насосов для перекачивания жидкости, вакуум-насос для создания вакуума, компрессор для создания давления газа, емкости для жидких сред, фильтры, центрифуги, автоклавы.

### **В работу включаются механики**

На авансцену выступают новые действующие лица: инженер-конструктор и инженер-механик. Первый призван рассчитать и сконструировать новое оборудование, второй ведает изготовлением, монтажом, эксплуатацией всего механического хозяйства.

От работы этих специалистов во многом зависит эффективность процесса. Ведь технолог сможет управлять только температурой, давлением, скоростью, концентрацией, а от механиков зависит надежность работы всех движущихся частей и механизмов, эффективность смешения реагентов и многое другое.

Пока речь идет о всяких вспомогательных операциях – подаче сырья, загрузке, выгрузке, транспортировании, – вопросы разрешаются быстро. Технолог формулирует задачу, механики рассчитывают и подбирают сечения труб, мощность насосов, диаметры сечения клапанов, типы регуляторов. Камнем преткновения являются конструкции основных аппаратов и устройств. Здесь ведь необходимо найти обоюдно приемлемое решение, несмотря на то, что при обсуждении страсти часто разгораются не меньше, чем в Организации Объединенных Наций. Послушаем, как идет обсуждение.

**Технолог:** Нам нужно нанести катализатор на частицы полимера-носителя, затем, вот видите на схеме, передать его в реактор и полимеризовать на нем газообразный мономер.

**Механик:** И какую же конструкцию вы хотите применить?

**Технолог:** Я продумал тут несколько вариантов. Можно применить кипящий слой\*.

**Механик:** Можно сделать и кипящий слой, конечно, но вы гарантируете, что ваш порошок будет однороден по размерам частиц?

**Технолог:** Нет, конечно, наоборот, распределение по размерам будет довольно широким.

**Механик:** Тогда никакой кипящий слой не подойдет – газ начнет уносить мелочь, и она напрочь забьет нам все фильтры, трубы и газодувку.

**Технолог:** Не понимаю, неужели нельзя поставить хороший фильтр и поймать всю эту «мелочь»? Вы наверное просто не в курсе. На цементных заводах, сахарных, мукомольных, да мало ли еще где, везде как-то борются с пылью лет сто уже по крайней мере.

**Механик:** Борются – это точно, только победить никак не могут. Таких фильтров, чтобы уловили все 100% пыли вообще нет. Потом все это начнет забиваться, нужно будет без конца чистить, разбирать, потом собирать. Может проще расфракционировать порошок?

**Технолог:** Нет, это не годится, химики возражают. Говорят – свойства материала будут хуже.

**Механик:** Значит они хотят выиграть в свойствах, а мы должны мучиться с непосильной задачей? Нет, так дело не пойдет.

**Технолог:** Может быть вы сможете использовать принцип виброкипения? Тогда газа можно давать поменьше и уноса почти не будет. Установка будет вибрировать и перемешивать порошок. Как это мне сразу не пришло

---

\* Процессы в так называемом кипящем слое или (что то же самое) в псевдооживленном или флюид-процессы – это процессы, при которых твердые частицы находятся во взвешенном состоянии под действием потока газа или жидкости.

в голову. Ведь такие сушилки с виброкипением применяют для полимеров. Да и в кинохронике или по телевизору, не помню где, но я видел, как на часовом заводе детали подают сборщице по виброконвейеру.

**Механик:** Вы это по телевизору видели, а я два года убил на эту вибросушилку. Кошмар! От вибрации все гайки отвинчиваются, все отваливается на ходу. Или вот в строительстве недавно где-то применили этот виброконвейер.

**Технолог:** Ну и что?

**Механик:** Ничего хорошего – от тряски здание и развалилось. Для часовщиков может эта штука и подходит, не знаю, но нам с вами, поверьте, она не к чему.

**Технолог:** У меня тут есть еще одна задумка. Правда, предупреждаю, я такого нигде не видел в химии, так что если подойдет, то патент в США и прочих странах я вам гарантирую.

**Механик (недоверчиво):** У меня у самого таких задумок полно, вон чертежи пылятся в шкафу – все нереализованные «прожектъ». Что там у вас, опять по телевизору увидели какую-нибудь штуку? Что это вы нарисовали? Песочные часы?

**Технолог (с гордостью):** Вот именно часы. Не смейтесь! Я вчера принимал в поликлинике процедуру, лежу спокойно, а мысли все вокруг этой проблемы с порошком так и крутятся. Медсестра подошла, поставила вот эту штуковину, смотрю как песочек сыпется, тут меня осенило: можно ведь этот принцип и в аппарате использовать... Ну, ну...

**Механик:** Что-то в этом есть.

**Технолог:** По моему, гениально просто. А в настоящей технологии все должно быть просто, иначе это не технология.

**Механик (задумчиво):** Напомните мне, сколько времени идет у вас процесс?

**Технолог:** Минут 20–30, но сконструировать нужно хотя бы с двойным запасом по времени пребывания порошка в аппарате.



Механик: Что же это за конструкция будет по высоте? По-  
выше Останкинской телебашни, пожалуй?

Технолог: Можно снизу поджать газом. *(неуверенно)* Режим  
свободного парения. Наверное это поддается рас-  
чету.

Механик *(ехидно)*: Конечно, тяжелые частицы вниз полетят,  
легкие наверх, там мы с вами будем их ловить и смести-  
вать. Так?

Технолог: Ну, а вы-то что предлагаете? Критиковать легче  
всего.

Механик: Надо что-нибудь попроще. Давайте для начала  
поставим барабан со скребками. Будете крутить там свой  
порошок, сколько хотите. Кстати, у нас есть где-то такой  
барабан.

Технолог *(уныло)*: Я тоже про барабан думал, но как в нем  
тепло реакции снимать? Через стенку много не снимешь,  
коэффициент теплоотдачи от порошка мал.

Механик: А вы помедленнее полимеризуйте; часиков за 6,  
смотришь, и наработаете.

Технолог: Все же не понимаю, почему нельзя кипящий  
слой использовать? Ведь купили же мы за границей один  
процесс, где реактор был как раз такого типа. Значит  
можно подобный сконструировать?

Механик: А вы читали в газетах, что это была за машина?  
Уникальной задачей была одна только его перевозка. Да  
там одних холодильных трубок 4800 и все забиваются  
полимером, сверлить нужно раз в месяц...

Идеи конструкции новых аппаратов, будь то самолет, авто-  
мобиль или картофелечистка, рождаются в творческих муках.  
Вот правдивая история о создании аппарата для очистки  
формальдегида.

Про полиформальдегид и его историю было сказано в первой главе. Напомним, что формальдегид – газообразный в обычных условиях мономер, обладает огромной химической активностью.

Как очистить мономер от примесей влаги, метанола, кислоты, которые мешают при полимеризации? В химии и химической технологии известны сотни способов очистки веществ, но буквально ни один из них не годился для формальдегида. Или происходила полимеризация там, где не надо, с образованием низкокачественного полимера, непригодного для формирования изделий, или мономер разлагался.

Добавьте сюда отвратительный запах, сильное слезоточивое действие мономера при попадании в воздух даже в мизерных концентрациях, взрывоопасность его в смеси с воздухом, аллергическое воздействие на кожу, и вы получите представление об условиях, в которых приходилось работать со строптивым мономером.

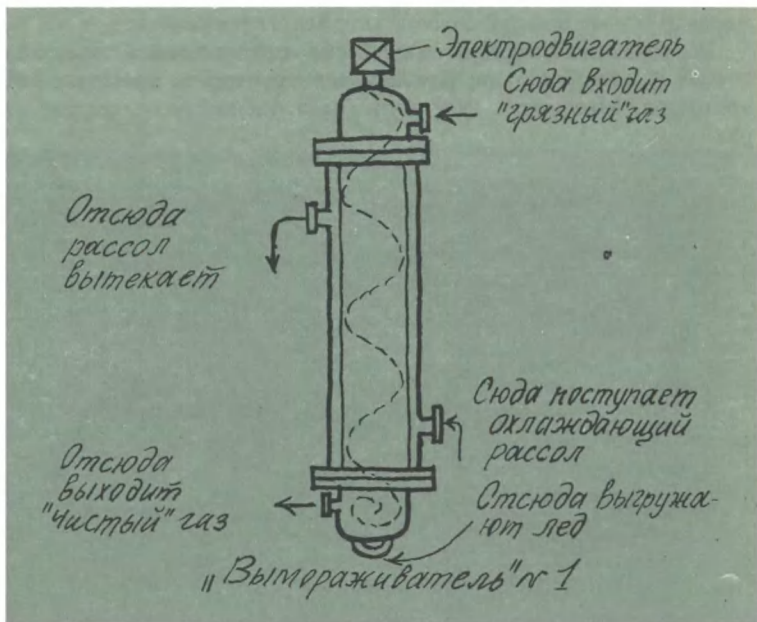
Итак, нужно было придумать оригинальный метод очистки. В лаборатории было замечено, что если «грязный» мономер, содержащий около 1% примесей, пропустить через охлажденные стеклянные трубки, то он начнет полимеризоваться на поверхности трубок, образуя пленку твердого полимера.

То, что формальдегид самопроизвольно полимеризуется на любой поверхности и в любой жидкости, было известно давно. Химики перепробовали множество различных материалов (помните 6000 веществ, испытанных Эдисоном для создания нити накаливания?), но не нашли нейтрального по отношению к этому мономеру. Но зато при этом было сделано открытие, которое заключалось в том, что избыток мономера, не успевший заподимеризоваться на стенке, обеднялся примесями, т. е. самоочищался!

Подбирая условия, удалось таким путем получить достаточно чистый мономер (99,95%) при суммарных потерях за

счет полимеризации 7–10%. Это уже приемлемо для технологии!

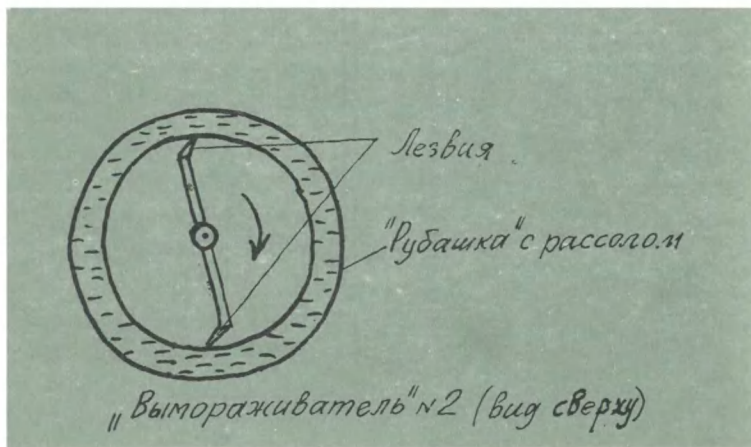
Теперь, когда принцип очистки установлен, нужно сконструировать опытный образец аппарата. Технологи и конструкторы, изучив процесс в лаборатории, предложили конструкцию № 1 (см. рисунок). Это металлическая труба с рубашкой, по которой циркулирует охлаждающая жидкость. Мономер проходит по трубе и полимеризуется на стенках. Для того, чтобы стенки не «зарастали» в аппарат помещают стальную спираль, которая вращается и сдирает полимер со стенок трубы. Из нижней части аппарата полимер периодически должен выгружаться.



Уверенность в успешной работе аппарата была очень велика; ведь в лаборатории на стенках ловушек получался хрупкий, легко удаляемый порошок. Название «вымораживатель» произошло из-за того, что считалось возможным образование на стенках аппарата льда при низких температурах и большом содержании воды в мономере.

При запуске аппарата на опытной установке спираль оторвалась от вала мотора уже через 10 мин. Аппарат разобрали; оказалась срезанной шпилька муфты, крепящей спираль к электродвигателю. Механики поставили шпильку потолще, но и ее срезало. При следующем запуске вышел из строя двигатель из-за перегрузки. Оказалось, что спираль прочно «цементируется» слоем полимера. Значит, полимер на стенках не такой уж хрупкий, — справедливо решили механики, — ничего, срежем его ножом.

Вымораживатель № 2 имел S-образный прочный нож, который должен был, по замыслу конструкторов, срезать слой полимера. Мощность двигателя была увеличена в несколько раз.

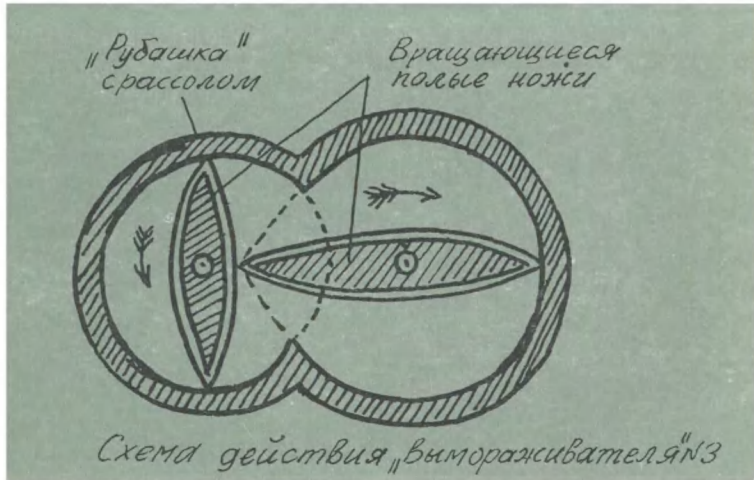


Каково же было удивление механиков, когда и этот аппарат, способный сокрушить скалу, вышел из строя! Нож заклинило, а при увеличении мощности двигателя – скрутило и оторвало.

Вымораживатель № 3 имел уже два ножа, которые должны были очищать друг друга при вращении, но и эта сложная конструкция успеха не принесла.

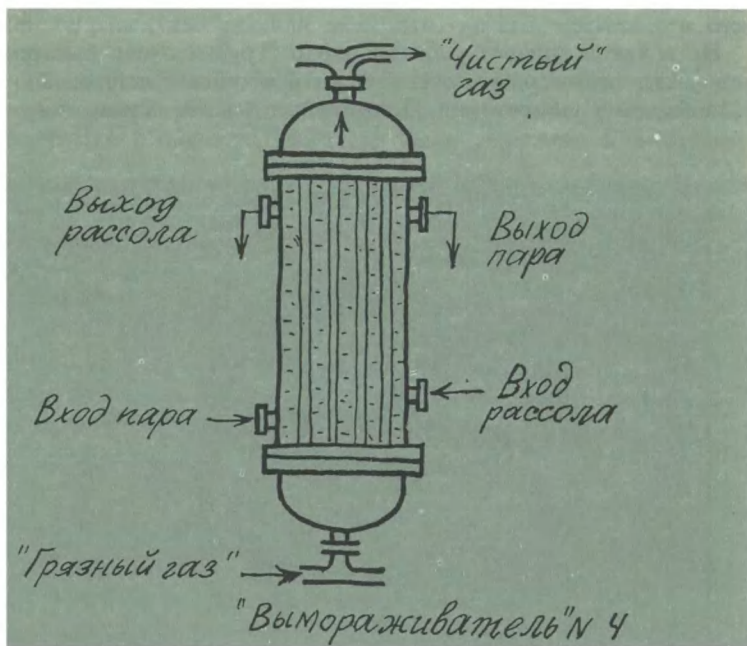
Теперь технологи были разочарованы в механическом методе и решили попробовать термический. Вымораживатель № 4 представлял собой многотрубчатый теплообменник. Внутри трубок проходил газ, снаружи – охлаждающая жидкость. Когда трубки забивались полимером, процесс останавливали и в рубашку аппарата подавали пар для разложения полимера.

Но и такой аппарат работал плохо. Трубки очень быстро забивались полимером, количество которого было значительно больше, чем в лаборатории. Полимер разлагался, образуя смо-



лообразные продукты, которые никак не удавалось удалить, даже промывая или пропаривая аппарат (т.е. пропуская через него водяной пар при большом давлении).

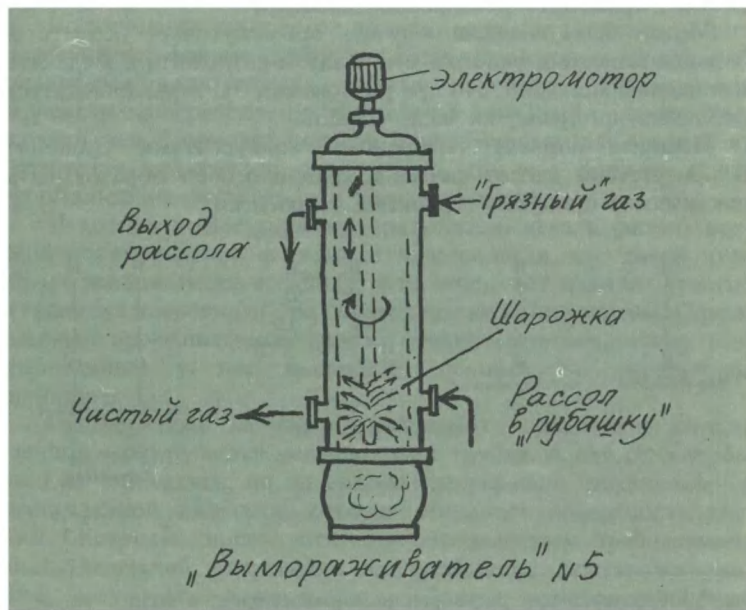
Пока на опытной установке свистел и шипел пар, уязвленные механики придумали новый механизм для очистки стенок. Раз нельзя срезать слой полимера по всей высоте аппарата, то надо использовать принцип поступательно-вращательного движения и срезать понемногу, — рассуждали они. Подходящее устройство известно — это «шарожка» для чистки котлов в котельнях. Металлическая круглая щетка вращается на длинной ручке и сдирает нагар со стенок котла.



Пока изготовляли «шарожку», конструкторы предложили использовать для очистки движущиеся твердые шарики, предварительно охлажденные, применить ультразвук, вибротранспортер и многое другое, но создать работоспособный аппарат никак не удавалось.

А вот «шарожка» оказалась удачной конструкцией для удаления полимера со стенок. Правда, и она постепенно зарастала полимером, но позднее для нее была сделана обогреваемая камера-убежище в верхней части аппарата, где она «отдыхала» от работы в среде формальдегида.

Конструкции вымораживателя разрабатывали в течение 5 лет. Последняя представляла собой многотрубный аппарат с программным управлением, работавший на опыт-



но-промышленной установке. И все же от вымораживателей пришлось отказаться. Степень очистки мономера оказалась низкой, потери больше, чем по расчету, при увеличении объема производства очень уж сложной получалась конструкция...

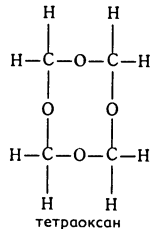
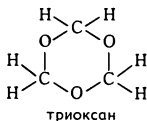
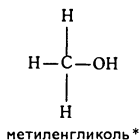
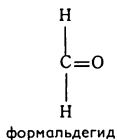
И вот снова и снова в лаборатории ставят опыты, пробуют новые и новые методы очистки. Может быть использовать цеолиты – высокоэффективные сорбенты, способные работать при повышенных температурах, когда полимеры формальдегида не образуются?

А может быть, наоборот, растворить формальдегид и чистить его при очень низких температурах, при  $-50$ ,  $-100$  °С, когда скорость побочных реакций низка?

Может быть разбавить мономер инертным газом или, наоборот, применить повышенное давление?

Может быть сначала получить промежуточное более стабильное вещество, очистить его, а затем разложить и выделить очищенный мономер? Но при разложении будут накапливаться побочные продукты, их надо удалять.

Помните вариант, выбранный конкурентами Дюпона? В присутствии кислот формальдегид способен образовывать циклические продукты – триоксан, тетраоксан:




---

\* Образуется при растворении формальдегида в воде.



Триоксан легко выделяется, устойчив при хранении, может быть очищен обычными методами. До начала «полиформальдегидной истории» он уже был известен химикам и применялся как растворитель для некоторых веществ.

Пока ученые доказывали механизм образования полимера и спорили о том, участвует ли формальдегид в этом процессе как промежуточный продукт или триоксан непосредственно превращается в линейный полимер, технологи быстро соорудили опытные установки. Этот вялый и малоактивный «родственник» формальдегида пришелся им по душе. Его можно очистить старинными и надежными способами: перекристаллизацией из раствора, ректификацией. Да и полимеризуется он гораздо медленнее, чем формальдегид и тепло реакции в три раза меньше (часть его выделяется уже при образовании триоксана из трех молекул формальдегида).

Большинство технологов во всем мире постарались забыть мономерный формальдегид, как кошмарный сон, и начали синтезировать политриоксан. Кстати, и ученые доказали, что триоксан непосредственно переходит в линейный полимер. Различить, какой продукт получен из формальдегида, а какой из триоксана, практически невозможно, так что название полиформальдегид осталось для всего семейства.

И только самые упрямые продолжали искать способ прямой полимеризации формальдегида, полагая, что такой путь будет экономически выгоднее. Кто ищет, тот находит,—гласит старинная пословица. Это справедливо и в технологии. Современный промышленный способ очистки формальдегида, разработанный у нас в стране, основан на следующем принципе.

Газообразный мономер пропускают через узкие охлажденные через рубашку металлические трубки. А для того чтобы они не забивались, по их стенкам непрерывно стекает пленка охлажденной жидкости, которая защищает поверхность трубок. Жидкость должна отвечать определенным требованиям: быть нелетучей, инертной в полимеризации, достаточно вязкой, растворять формальдегид, образуя низкомолекулярные

жидкие полимеры. Важно, чтобы в ней не протекали побочные процессы, чтобы формальдегид можно было регенерировать.

И снова были испытаны десятки веществ. Удалось найти подходящее среди гемиформалей – соединений формальдегида со спиртами...

Несколько лет назад к нам в Москву приезжал из США профессор Вогл, бывший научный руководитель отдела пластиков фирмы «Дюпон». Автору этих строк пришлось с ним беседовать. Вспоминали полиформальдегидную эпопею.

– Скажите, – спрашивал профессор, – Вам удалось разработать технологию производства сополимера формальдегида?

– Да, но с большими трудностями, очень намучились с очисткой.

– О, это очень сложная техническая задача, «Дюпон» решал ее много лет.

– Мы до сих пор спорим, какой способ из сотен возможных избрал «Дюпон». Некоторые считают, что вы открыли гениально простой, но я лично полагаю, что вы путем планомерных усилий довели до приемлемого технического уровня один из известных методов.

– Именно так, – ответил профессор, – но как вам удалось получить сополимеры? Ведь «Дюпон» до сих пор производит гомополимер формальдегида.

– Мы перепробовали много методов очистки и остановились на трубках с движущейся пленкой.

– И мы тоже, – улыбнулся профессор, – но какая используется жидкость?

– Гемиформаль!

– И у нас гемиформаль! – рассмеялся профессор. – Какого спирта? Циклогексанола?

– Да, – теперь уже рассмеялся автор.

– И у вас циклогексанола! – воскликнул профессор. – Но как вам удалось синтезировать сополимер?

– Купите лицензию и мы вам откроем все секреты, – закончил беседу автор.

Вот вам и иллюстрация к рассказу о двух группах исследователей, независимо работающих над одной и той же проблемой со множеством вариантов решения.

## **Аппаратчики, механики, лаборанты**

До сих пор мы говорили о роли ученых и инженеров в создании новых процессов и материалов. Но ведь в химических лабораториях, на заводах работают не только специалисты с высшим образованием. Что же представляет собой современный рабочий на химическом предприятии, какие функции он выполняет?

Основным контингентом работников на любом химическом предприятии являются операторы или, как их раньше называли, – аппаратчики. Их функция – контроль технологического процесса и его регулирование согласно рабочему регламенту и технологическим инструкциям – основным документам, определяющим течение процесса.

Еще 10–15 лет назад большинство операторов химических заводов имело образование 6–8 классов средней школы. Часто при поступлении на завод эти люди впервые в жизни сталкивались с химией. Новичков тщательно инструктировали по технике безопасности и определяли сначала помощниками к опытным аппаратчикам. Постепенно они перенимали приемы работы, повышали свою квалификацию. Однако недостаток образования сказывался, и если они не продолжали свое образование заочно в школе или техникуме, то путь к высокой квалификации для них оставался закрытым.

В последние годы в связи с введением в стране всеобщего среднего образования увеличился приток в промышленность значительно лучше подготовленной молодежи. Параллельно происходит непрерывное усложнение технологии, растут требования к квалификации технического персонала.

Некоторые задают вопрос: а зачем идти на завод молодежи со средним образованием? Разве чтобы крутить вентили, от-

крывать и закрывать краны и задвижки или даже записывать показания приборов, нужно знать начала математического анализа, экономическую географию или физику в объеме новой усложненной школьной программы?

Нет,—спешат они с ответом на собственный риторический вопрос,—на завод пойдут неудачники, те, кто не смогут попасть в ВУЗ. А им основы дифференцирования, тригонометрии и тем более литература и иностранный язык не понадобятся никогда, разве только для домашних увлечений в свободное от смены время.

Прежде чем ответить на этот вопрос, обратимся к иностранному опыту. Самую высокоразвитую химическую промышленность имеют США. Несколько лет назад англичане решили выяснить, почему у них такие показатели, как производительность труда, качество продукции, прибыль в химической промышленности, уступают американским. Была создана специальная комиссия, включавшая в свой состав инженеров, ученых, проектантов, экономистов и т. д. Эта комиссия должна была тщательно изучить и сравнить в деталях организацию работ на одинаковых заводах в США и Англии.

Комиссия констатировала следующий поразительный факт: уровень технических знаний американских операторов оказался примерно равным уровню английских инженеров!

Автор не знает, какие выводы из этого сделали руководители химической промышленности в Англии, но тот факт, что высокий уровень общего и специального образования самым непосредственным образом влияет на результаты работы, он может подтвердить на основании собственного опыта. Но для этого придется рассказать довольно длинную историю.

Случилось так, что сразу после окончания института автор был назначен начальником опытной установки на химическом заводе. Процесс получения полимера, который нужно было отработать на этой установке, оказался очень сложным, дело ладилось плохо. Раз за разом мы проводили синтез, получали продукт, промывали его, сушили и напряженно ждали резуль-

татов анализа из лаборатории. А результат был неудовлетворительный. Начинались переделки оборудования, изменения технологической схемы, приходилось все время вносить изменения в регламент.

От операторов установки в такое время требуется особое внимание, тщательность в выполнении заданий. Любые нюансы поведения аппаратуры, малозаметные изменения температурного режима могут иметь важное значение для понимания процесса. Вот здесь особенно сказалась разница в образовании операторов. Несколько человек, окончивших десятилетку, сразу же выдвинулись в ряд помощников инженеров и исследователей. Им легче было объяснить задачу, они проявляли большую заинтересованность.

Работа на установке велась в три смены и основным средством общения между сменами были рабочие журналы, куда записывались сменные задания и отчеты о их выполнении. Но язык этих записей сух, и информации для обсуждения результатов явно не хватало.

Утром на опытной установке особенно многолюдно. Собираются исследователи, инженеры, механики, задерживаются сменные инженеры ночной смены. Сообща просматривают записи в рабочих журналах, показания приборов, результаты лабораторных анализов. Особенно неприятна ситуация, когда процесс неустойчив, результаты меняются от операции к операции. Приходится без конца напоминать, что наша главная задача добиться воспроизводимости и засечь отклонения от режима.

Наконец, автору пришла в голову идея завести специальный журнал для научных размышлений. На обложке появляется надпись, что в этот журнал вносить записи могут *все*: инженеры, операторы, лаборанты; *все*, у кого появляются какие-либо соображения по управлению процессом. Журнал неофициальный, он должен способствовать повышению интереса к работе у технического персонала. Сначала практически все записи с объяснением задач, описанием нерешенных проблем и трудностей принадлежали автору. Но вот в полемику посте-

пенно втянулись сменные инженеры, а затем и бывшие десятиклассники. Конечно, не все соображения имели значительную научную или техническую ценность, но сам журнал стимулировал творческую активность.

Через некоторое время о журнале узнало начальство, его даже стали показывать гостям из министерства и других организаций.

Мнения руководителей разделились. Одни считали, что это никчемная затея – все равно операторы и лаборанты ни чем существенным помочь при решении сложных научно-технических задач не смогут. Другие соглашались с тем, что подобная форма работы заслуживает внимания, но недоверчиво спрашивали: «Неужели у вас аппаратчики все это понимают?»

Беседы с операторами и лаборантами убеждали в том, что журнал способствовал более углубленному пониманию технологического процесса и технических задач, чем обычные рабочие инструкции.

Прошло много лет. На заводе отмечался юбилей создания опытного цеха. Собрались многие бывшие его работники, вспоминали разные забавные случаи, вспоминали и про знаменитый журнал. За эти годы все бывшие операторы-десятиклассники получили специальное образование, закончили институты или техникумы и стали командирами производства. Все они говорили о том, как интересно было работать, когда перед ними раскрывалось значение отдельных операций, их взаимосвязь, когда на их глазах рождался научный подход к казалось бы привычному делу.

Но еще большее впечатление на автора произвело высказывание ветеранов-операторов, тех, кто, казалось, особенно и не интересовался никогда «наукой» и во всяком случае почти никогда не оставлял записей в «научном журнале».

– Это было самое интересное время нашей работы, – дружно сказали они, – и хотя работать было трудно, а премию платили далеко не всегда, мы готовы начать все сначала.

– Но ведь мне казалось, что вы не понимаете многого, я ориентировался на инженеров, техников, десятиклассников...

– Нет, нам тоже было интересно, мы чувствовали себя равноправными участниками, чувствовали, что создаем науку, что делаем важное дело.

Широко распространено заблуждение, что новейшая техника очень легка в управлении и не требует сложных навыков. Поэтому можно услышать такое рассуждение: «Ну, хорошо в опытном производстве, а также для ремонта аппаратуры и приборов нужны высококвалифицированные специалисты. Наверное, они нужны и при наладке новой техники. Но для ее эксплуатации они не нужны, вспомните современный автомобиль, стереомагнитофон или цветной телевизор. Ну кто в них разбирается? Единицы! А используют тысячи, миллионы».

Увеличение производительности химических заводов сопровождается непрерывным усложнением задач управления. Возьмите хотя бы лаборанта. Еще 10 лет назад в его функцию входило проводить анализы всего по нескольким методикам; среди приборов, которыми он пользовался, сложнейшим был хроматограф.

Теперь только один перечень приборов, используемых для пофазного производственного контроля на одном из новых производств полиэтилена, внушает уважение специалистам. Здесь и газожидкостной хроматограф, и новейшие приборы для определения влажности с чувствительностью до 0,0001%, и спектрофотометры, и различного типа вискозиметры, и эмиссионный спектрометр, и многие другие.

На пульт управления промышленным агрегатом выведены показания десятков и сотен приборов. Для расчета оптимальных режимов синтеза на крупных агрегатах ставятся ЭВМ. Операторы, чтобы управлять этой техникой, должны иметь специальное среднее или высшее образование.

Среди лаборантов на химических производствах преобладают женщины. Много их и среди операторов, хотя часто эта работа требует чисто мужских качеств. Слесари, механики, прибористы – эти специальности привлекли мужчин. Квалификация здесь растет медленно, многое дается опытом, нужен навык. Высококвалифицированный слесарь ценится буквально

«на вес золота». Далеко не всякий может достигнуть высот мастерства, да и уходит на это по 7–10 лет.

Автор вспоминает, как в дни его работы на заводе в самые тяжелые моменты, когда ломалось и выходило из строя самое сложное оборудование, когда нужно было срочно изобрести и изготовить невиданное устройство или приспособление, руководители цехов и установок обращались к главному инженеру с одной только просьбой: «Дайте нам Бека и Баюрова». Этих двух слесарей-ветеранов вводили в дело как старую наполеоновскую гвардию – только в решающий момент. Это были изумительные мастера своего дела. Для них не существовало неразрешимых задач. И относились к ним все с огромным уважением.

Такие мастера есть практически на любом заводе, работая рядом с ними набираются опыта молодые инженеры-конструкторы и механики.

Научно-техническая революция приводит к значительному изменению роли рабочего класса на производстве. Уменьшается доля неквалифицированного физического труда, растет образовательный уровень, все больший процент работающих занят на исследовательских, опытных и наладочных работах. И чем больше сумеют ученые и инженеры вложить сил, знаний, изобретательского таланта в конструирование машин и аппаратов, тем скорее уйдут в прошлое такие специальности, как подсобник, грузчик и даже уборщица.

## **Технологические отрасли**

Работа на опытной установке – это непрерывное преодоление трудностей. Что-то все время ломается, портится, забивается, «газит», подтекает. Представьте себе, что вы работаете в опытном цеху и вам поручено запустить небольшую установку полимеризации. Вам нужно получить мономер путем разложения низкомолекулярного порошкообразного вещества, газообразный мономер очистить контактом со специальной



жидкостью, направить в реактор и там заподимеризовать. При этом продукт не растворяется в реакционной среде, а образует суспензию.

Вы угадали—это пример из области получения полиформальдегида. Но сходные задачи возникают и в других процессах, например при каталитической полимеризации этилена и пропилена.

В лаборатории все эти процессы неплохо отработаны в стекле. Казалось бы, не так уж трудно осуществить то же самое в металле. Итак, приступим. Задача № 1—нужно порошок непрерывно подавать в аппарат, где он будет непрерывно же разлагаться. Транспортировать порошок можно разными способами, изобретать велосипед здесь, пожалуй, не стоит. Как там подают в лаборатории? Ах так, маленьким шнеком. Ну что ж, сделаем большой шнек с бункером конусообразной формы. Порошок не липкий на ощупь, должен хорошо пересыпаться.

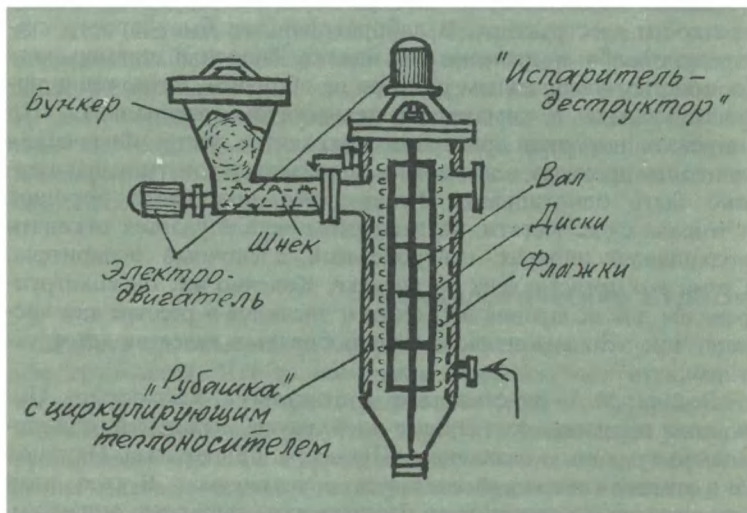
Задача № 2—аппарат для разложения, назовем его для краткости «деструктор». В лаборатории это была просто стеклянная колба, нагреваемая на плитке. Типичный пример, когда простым увеличением размера не обойтись. Разложение порошка—задача в химической технологии оригинальная. Но нагревать порошки при сушке приходится часто. Физическая сущность процесса одинакова, следовательно, и решение должно быть однотипным. Лучше всего прогреть порошок в тонком слое. Кстати, на заводском складе удастся откопать подходящий аппарат—центробежный пленочный испаритель. Схема его представлена на рисунке. Конечно же, он конструировался для испарения жидкости и числился в реестре как «испаритель». Но заманчиво его попробовать в качестве «деструктора».

Задача № 3—очистка газа контактом с жидкостью. Подобные процессы составляют хлеб науки, известной под довольно туманным названием «Процессы и аппараты». Изучают ее в химико-технологических вузах и техникумах. В курсе этой дисциплины студентов учат рассчитывать выпарные аппараты,

ректификационные колонны, сушилки, фильтры, а также множество других аппаратов. К сожалению, будущих технологов совершенно не учат разрабатывать новые процессы. В учебниках по технологии все ясно, как в школьном задачнике. В реальной технологии все несравненно сложнее. Не потому ли выпускники технологических вузов так неуютно чувствуют себя на опытных установках?

Существует по крайней мере два десятка различных конструкций, пригодных для осуществления стадии № 3. Допустим, что после ожесточенных споров одна из них выбрана для проверки.

Задача № 4 – выбор реактора полимеризации. В лаборатории это трехгорлая колба с мешалкой и электромоторчиком. Число оборотов мешалки регулировали реостатом. Создать идентичную конструкцию в цехе сложно – нужен гидропривод.



Проще использовать редуктор. Выбор типа мешалки в технологии – проблема значительно более сложная, чем в лаборатории. В маленькой колбе интенсивное перемешивание жидкости достигается простым увеличением числа оборотов мешалки.

Учитывая особенности мономера, все газопроводы проектируют с рубашкой, по которой циркулирует горячая вода. Механики предусматривают герметичное соединение стыков. Специалисты по КИП – контрольно-измерительным приборам – по заданию технологов оснащают установку приборами и датчиками для замера температуры, давления, расходомерами.

Наконец, установка смонтирована, обогреваемые узлы покрыты слоем изоляции, все выкрашено в яркие тона (каждый трубопровод красится в определенный цвет, чтобы легче ориентироваться). Правда, опытный технолог, окинув взглядом свежеевыкрашенную аппаратуру, недоволен поморщится: раскрашенные опытные установки работают почему-то особенно плохо. Но ничего, будем надеяться на лучшее.

Первый этап: проверка установки на герметичность. Кому не приходилось, почувствовав на кухне запах газа, вызывать газовщиков? Помните, как они поступают? Промазывают все места соединений газопровода мыльной пеной, включают газ и смотрят, где появляются пузыри.

В химической технологии поступают точно так же. Правда, промазать все стыки, болтовые соединения, крышки и люки большой установки – дело хлопотливое. Потом внутри создают избыточное давление азота или воздуха, соответствующее расчетному пределу, и ищут утечку, т. е. места, где мыло пузырится. Одновременно по манометру контролируют, как установка «держит» давление. Обычно требуется, чтобы начальное давление сохранялось 2–3 ч. Промучавшись день или два, подтянув десятки гаек, заменив «худые» прокладки, механики и слесаря механической группы сдают, наконец, герметичную установку технологам.

Следующий этап: ее нужно промыть от грязи. Дело в том, что при монтаже оборудование чрезвычайно загрязняется пес-

ком, маслом, обрезками прокладок и т. п. Любой технолог – законченный фаталист. Сколько установку не отмывай, все равно первые партии продукта будут грязными. И вообще, грязь на опытных установках – бедствие непреодолимое. Но об этом мы еще поговорим.

Промыли многократно водой, затем растворителем, просушили газом. Проверили работу электродвигателей: правильно ли присоединены концы. Еще раз проверили герметичность (она наверняка пропадет после всех манипуляций, и промазать все узлы мылом придется заново). Кажется, все готово.

Вид установки несколько изменился: от мыльной воды и энергичных усилий слесарей краска кое-где облезла, изоляция отвалилась. Но это, в конце концов, мелочи. Можно загружать реагенты по технологической инструкции, приглашать исследователей из лаборатории на пусковые операции.

### **Куда девался газ?**

Все в сборе. Последние предстартовые волнения. Конечно, это не запуск космической ракеты, но все участники волнуются не меньше. Дается команда включить шнек подачи порошка в деструктор-испаритель. Через несколько минут выясняется, что газ в систему не поступает...

Руководители эксперимента лихорадочно ищут причину. Может быть где-то газовая пробка? Но нет, систему продували инертным газом\*, да и давление не растет. Может быть температура деструктора низка? Поднять ее до предела! Не помогает. Может быть весь мономер растворяется при очистке из-за роковой ошибки в расчетах? Берется проба, лаборантка мчится в цеховую лабораторию. Через 10 мин по телефону сообщают, что мономера в пробе нет.

---

\* Обычно это азот.

Теперь поисками пропавшего мономера занялись все. Может шнек оторвало от двигателя? – предполагает кто-то. Нет, шнек крутится нормально и на максимальной скорости. Может быть газ по какой-то трубе уходит куда-нибудь в другое место? – нерешительно предполагает кто-то из исследователей. Такое абсурдное предположение отвергается с презрением.

В чем же причина? Она наверняка примитивно проста, но тем труднее до нее докопаться. Наконец, кто-то высказывает догадку: порошок мог зависнуть в бункере, образовав свод, и поэтому не поступает в шнек. Эту гипотезу несложно проверить – достаточно стукнуть чем-нибудь тяжелым по грузозачному бункеру. Предлагается несколько инструментов. Молотки отвергаются – можно высечь искру, а в помещении, где ведутся работы, это категорически запрещено. В дело пускается деревянная колотушка. И, о чудо, приборы регистрируют появление мономера в системе!

Конечно, сидеть и колотить по бункеру – это не очень «технологично», но первый опыт нужно провести. Это дело принципа. Да и начальство по телефону уже не раз справлялось, как идут дела. Бункер можно переделать потом. И его будут переделывать неоднократно: сначала сделают с расширяющейся книзу горловиной, затем со специальной рамной мешалкой («ворошителем»). Будет предложено использовать вибросистему, но это потом.

Через некоторое время опыт придется прекращать – давление газа в системе начало повышаться, и всепроникающий запах формальдегида разогнал с установки всех, кто предусмотрительно не запасся противогазом. Здесь все ясно – газопровод где-то забился полимером. Для того чтобы определить место забивания, установку нужно разобрать.

Почему она все-таки забивается? Ведь на всех газопроводах предусмотрен обогрев. После разборки выясняется, что стыки в соединениях труб прогреваются недостаточно, и там возможна полимеризация.

Узлы схемы будут отказывать один за другим. Забивание линий, поломки приборов, неплотности сальников, через ко-

торые вал мешалки соединяется с приводом, обрастание стенок реактора полимером – всему этому нет конца. Но упорство людей способно преодолеть все, и наступит день, когда операция будет проведена и полимер получен.

Вот он выгружен на фильтр, промыт растворителем и лежит как материализовавшийся плод бесконечных усилий множества людей. Белый, ничем не примечательный порошок. Исследователи и технологи обступили его со всех сторон.

– Он, он! – восторженно восклицает исследователь, растирая горсть порошка пальцами, – нет, пожалуй, не он.

Можно с уверенностью сказать, что не он. Потребуются длительные усилия, чтобы отладить процесс и получить полимер требуемого качества. А если полимер совсем новый и зарубежных аналогов под руками нет, то потребуется еще немало времени для того, чтобы определить какое качество нужно.

Автор был свидетелем совершенно анекдотического случая, когда партии материала, выпускавшиеся на опытной установке длительное время, признавались негодными и... закапывались в землю на резервной территории. Примерно через год исследовательские работы по свойствам материала продвинулись настолько, что потребовался ... именно тот закопанный материал, ранее признанный бракованным. Представьте себе выражения лиц технологов и аппаратчиков, рыскающих в темноте с фонарями (дневной позор был бы невыносим) на мусорной свалке в поисках места захоронения бесценного полимера!

### **Сколько стоит продукция опытной установки**

Проходит время и вот процесс постепенно налаживается. Получается материал заданного качества, аппаратура «притерлась» и даже грязи в полимере совсем немного. Кажется, теперь все невзгоды позади, можно вовремя уходить с работы

и не давать ночью по телефону советов в аварийной ситуации.

Но парадокс работы на опытных установках заключается в том, что когда они работают хорошо,—они никому не нужны. Да, да—не удивляйтесь—все дело в экономике. Экономически эксплуатировать опытные установки крайне невыгодно. Они малопроизводительны, людей на них занято много, расходы сырья, энергии, материалов огромные.

Допустим, сделана опытная партия нового полимера. Есть потребитель, готовый провести испытания материала. Спрашивается, по какой цене продать ему опытный образец? Начальник опытного цеха вызывает экономиста и поручает ему рассчитать себестоимость материала, т.е. суммарные затраты на изготовление единицы продукции.

Экономист уверенно берется за дело, он регулярно делает подобные расчеты для основных цехов. Стоимость сырья определяется по справочникам, расходы воды, пара, электроэнергии дает служба главного энергетика, суммарную зарплату персонала определяет отдел труда и зарплаты, а как определить отчисления от стоимости оборудования и капитальных вложений, экономист знает по своим документам. Правда, нигде не сказано, как рассчитывать цену на опытные партии продукта, но до поры до времени это экономиста нимало не смущает. Получится у него примерно следующее:

Продукции (годной) на опытной установке	
получено за месяц	55 кг
Списано как брак	340 кг
Сырья израсходовано суммарно	3,5 т
Средняя цена сырья за тонну	1,5 тыс. руб.
Суммарный расход энергии, пара и	
воды	650 руб.
Зарплата ИТР (инженерно-технических	
работников)	980 руб.
Зарплата рабочих, слесарей, лаборантов	1680 руб.

---

Итого затраты: 8560 руб.

Простым делением затрат на выпуск получаем себестоимость 1 кг продукта: 155 руб. 63 коп.! И это без учета различных начислений.

А если учесть, что несколько месяцев на опытной установке качественный полимер вообще не получается и списать все расходы на эти 55 кг, то получится огромная цифра – что-то около 400 руб. за 1 кг. Можно представить себе выражение лица потребителя, когда ему назовут подобную цену.

Вообще-то в некоторых случаях химические вещества, выпускаемые в малых количествах, например некоторые медикаменты и реактивы, стоят фантастически дорого и именно из-за перечисленных выше причин. Но большинство полимерных материалов рассчитано на массовое производство. Наши химики и технологи, рекламируя новый полимер, как раз и упирали на то, что сырье дешевое, а следовательно, и полимер должен быть дешевый. Называли копеечную цену и это во многом предопределило интерес потребителей.

Они, потребители, прежде всего заинтересованы снизить стоимость своих изделий. Только в этом случае согласно действующим инструкциям они получат экономический эффект. Будь новый материал в 10 раз лучше ранее применявшегося, но если он на 10% дороже, то внедрить его практически невозможно. Нелепость этой ситуации очевидна, но не так-то просто выработать универсальные методы расчета эффективности. Недаром эта проблема время от времени выплескивается на страницы центральной печати.

Правда, есть отдельные организации, которым данный полимер необходим, и они готовы уплатить любые деньги. Многие опытные производства так и существуют. Хотите такой-то материал? Пожалуйста, сделаем, но извольте платить по себестоимости.

Хорошо, но как быть, если разрабатывается новый перспективный материал массового применения. Здравый смысл подсказывает, что цена на опытные партии полимера должна определяться с учетом его перспективной цены при массовом производстве, а не по сиюминутным расходам. Ведь завышен-



ная цена отпугнет потенциальных потребителей, сузит области применения полимера, приведет к неправильным расчетам потребности в нем.

Зарубежные фирмы свои новые материалы вообще раздают бесплатно для рекламы, а потом за 2–3 года массового производства окупают все расходы на разработку.

К сожалению, подобные соображения не встречают одобрения у экономистов. Вот и получается, что расходы на опытные работы приходится списывать на другие производства. Если завод большой, то он может себе это позволить, но и тогда на работников опытных цехов все будут коситься. Еще бы, они тяжким грузом «висят» на показателях эффективности работы завода, снижая производительность труда.

Теперь читателю понятно, почему руководство завода будет стремиться побыстрее завершить опытные работы и демонтировать оборудование.

Специфика опытных работ приводит еще и к тому, что начальник опытного цеха стремится набрать тем побольше. Для чего, спрашивается, ведь лучше сосредоточить максимум сил на одной проблеме?

– А свобода маневра? – отвечает многоопытный руководитель. – У меня одна работа не идет, по второй – не пришло оборудование, третья застопорилась – глядишь, зато четвертая пошла, установка дает хорошие показатели. Тут и настроение у коллектива поднимается, и отчитаться есть чем.

Один из героев чешского фильма-сказки «Голем» – алхимик, никак не мог синтезировать эликсир молодости по заказу короля. Но каждый раз при королевской ревизии он отвлекал внимание от основной «научной» проблемы, умело подсовывая другие «разработки». Нередко и технологам приходится выступать в роли незадачливого алхимика.

## **Страсть к переделкам**

Стоит начать работать на опытной установке, как вами безудержно завладевает страсть к переделкам. Особенно после неудачных опытов. Перед руководителем работ возникает дилемма: или переделывать один узел за другим и каждый раз проверять эффективность переделки, или сразу поменять все, что можно.

В первом случае (осторожный подход) к минимуму сводится возможность ошибки, но требуется много времени. Это путь флегматиков, людей осторожных, не стремящихся к громким эффектам.

Второй путь (решительный подход) импонирует людям, уверенным в себе, быстро соображающим, но чреват неприятными последствиями. Часто попытки форсировать реконструкцию установки приводят к запутыванию ситуации настолько, что приходится восстанавливать узлы ранее действовавшей схемы.

## **Визит именитого ученого**

Если дело основательно зашло в тупик, а фантазия технологов иссякла, на помощь призывают консультантов. И вот на установке появляется высокий гость – именитый ученый в сопровождении небольшой научной свиты. Установка тщательно вымыта и заново подкрашена. По строгому приказу начальства все двигатели включены, самописцы приборов вычерчивают линии, контрольные лампы мигают, но в аппаратах плещется вода.

– Почему же вода? – удивленно переспросит неискушенный читатель. А потому что практика неумолимо свидетельствует о том, что рабочие эксперименты в присутствии начальства обычно кончаются плохо. То ли аппаратчики нервничают, то ли аппаратура, но чревата это изрядными неприятностями –

или прокладку пробьет на линии и пар начнет свистеть, или вдруг «загазованность» образуется и придется высоких гостей поспешно выводить из цеха. Вода надежнее.

Итак, прибывшие ученые, бегом осмотрев установку, обосновываются в кабинете директора. Именитый ученый, если в молодости ему довелось поработать на заводе, задаст несколько деловых вопросов, сразу снискав расположение молодых инженеров. Если же за плечами у него только университет, то он будет немногословен или с чарующей откровенностью скажет, что в технологии полимеров смыслит немного.

Хозяева будут понимающе улыбаться и рассказывать о своих бедах. Конечно, жаловаться академику или профессору на нехватку насосов или вентилях нужного сечения бесполезно. Поэтому разговор зайдет о непознанных физических и химических процессах. Специфика этого разговора часто определяется разными подходами к технологии со стороны академической науки и технологов-эмпириков. Первый базируется на глубоком, количественно выражаемом понимании закономерностей, второй – на опыте и качественном понимании предмета. Барьер между двумя подходами иногда столь высок, что порой создается впечатление будто разговор идет на разных языках.

Х о з я е в а: Вот в чем у нас трудность: получаем мы полимер, все показатели на уровне, а удлинение при разрыве маловато, процентов 30.

Г о с т ь: Так это неплохое удлинение, вот у полистирола всего 3–4%.

Х о з я е в а: Нам по ГОСТ требуется 40%. Мы уж и так и сяк пробовали, ну никак не получается.

Г о с т ь: Ну, ровно 40 вам никогда и не получить, всегда будет некоторое распределение, статистический разброс ...

Х о з я е в а: Это мы понимаем. Нам нужно не ниже 40%, а то, что выше, мы усредним.

Гость: Так-с. У вас, насколько я помню, сополимер, не так ли? Увеличьте долю эластомера в нем и удлинение возрастет.

Хозяева: Пробовали, прочность при растяжении падает.

Гость: А это понятно и прекрасно согласуется с теорией. Видите ли, прочность при растяжении и относительное удлинение материала обычно связаны обратной зависимостью. Если прочность растет – материал становится жестче и удлинение естественно уменьшается, и наоборот.

Хозяева: Что же делать?

Гость: Я полагаю, что мы определенно можем вам помочь. Мы изучим кинетику синтеза, определим зависимость структуры от параметров процесса, а свойств от параметров структуры. Тут нам, возможно, придется преодолеть ряд принципиальных трудностей, но я думаю, что мы справимся. Затем мы построим математическую модель, отработаем ее на ЭВМ и выдадим вам данные.

Хозяева (*несколько ошеломленные трудностью задачи*): И когда же это будет?

Один из членов научной свиты: Года через 3–4.

(*Длительная пауза*).

Гость: Есть и другой путь. Недавно была опубликована работа, там в полимер вводили стеклянные шарики как модель наполнителя. И как это ни странно, в некоторых опытах удлинение при разрыве возрастало. Точнее проходило через максимум. Они там предложили весьма спорную гипотезу для объяснения этого эффекта. Что-то об ориентации пограничных слоев. Но можно проверить на вашем полимере.

Хозяева (*без энтузиазма*): Нет у нас никаких шариков. Да и как мы их будем вводить? И что это будет за материал? По ГОСТ, небось, не пройдет.

Гость: А нельзя ли плюнуть на этот ГОСТ! Почему это нужно удлинение именно 40%, а не 35? Кто это мог доказать?

Хозяева: ГОСТ – это закон, изменить его никак нельзя. Конечно, и с удлинением 30% переработать материал можно, но ОТК не пропустит.

Гость: Вот ведь выдумываете на свою голову. Неужели раньше нельзя было разобраться? Вспоминаете про науку, когда аврал начинается. А где вы были 3 года назад? Молекулярно-массовое распределение материала анализировали?

Хозяева: Зачем? В ГОСТ, слава богу, не входит, да и прибора у нас нет.

Гость: Как это зачем? У вас наверняка неоднородный продукт, поскольку температура синтеза переменная. Я вам без ЭВМ скажу – ведите процесс при постоянной температуре и свойства материала улучшатся. Насколько – без расчетов сказать не могу, но думаю, что свою задачу вы решите.

Хозяева: Это совсем другой процесс нужно делать.

Гость: Ну и сделайте. Выкиньте то, что тут нагорожено и сделайте новый процесс.

### **О парадоксе технологии**

Мы сталкиваемся с новым парадоксом технологии. Оказывается, можно производить продукцию даже тогда, когда механизм явлений, лежащих в основе процесса синтеза, не изучен или изучен плохо! Детальный механизм образования полимеров на некоторых катализаторах до сих пор не исследован, хотя ученые за 25 лет исписали горы бумаги. А полиэтилена и полипропилена, синтетических каучуков и других полимеров на этих катализаторах выпускают миллионы тонн.

Когда процесс создан без глубокого понимания его химических и физических основ, говорят, что он разработан эмпириче-

ски. Хотя в настоящее время используется огромное число эмпирических процессов, желание подойти к их научному пониманию велико. И это не дань моде – глубокое научное понимание позволяет усовершенствовать процессы, добиваться лучших результатов.

Как соединить эмпирический подход с глубоконаучным? Сложная задача. Фундаментальный научный подход требует много времени. Может быть, помогут математики? В последние годы они пропагандируют методы оптимизации химических и многих других процессов. Могущество математики безгранично.

### **Визит математика**

И вот на установке появляется новый гость – специалист по прикладной математике. Утверждение, что он появляется именно на установке – не совсем верно. Аппараты, приборы, химические соединения его совершенно не интересуют. Разговор будет протекать в кабинете. Примерно так.

**Хозяева:** Мы знаем, что вы владеете методами оптимизации химических процессов...

**Гость:** Химических или других – для меня это не имеет значения.

**Хозяева:** Тогда мы вам сейчас коротко расскажем технологическую схему...

**Гость:** Нет, нет, вы меня запутаете своими названиями. Мне абсолютно безразлично какой у вас процесс – варка стали, пошив обуви или перевозка грузов. Я хочу сказать, что для формального описания это безразлично и для ЭВМ тоже.

**Хозяева:** А как же тогда вы собираетесь оптимизировать, не зная суть?

**Гость:** Очень просто, Вы мне запишите систему уравнений и критерии, по которым нужно оптимизировать. Причем

заметьте, я вас не ограничиваю ни числом уравнений, ни числом параметров. Важно, чтобы все закономерности были охвачены. А мы тогда выберем метод оптимизации: вариационный или Монте-Карло, разработаем алгоритм и ...

Хозяйева: Но постоит, откуда мы возьмем столько уравнений? Ну материальный баланс можно написать, тепловой баланс...

Гость: Пишите все, что знаете. Напишите 100 уравнений – хорошо, 200 – еще лучше. Только учтите, все интересующие вас закономерности должны быть охвачены, иначе – пустая трата машинного времени.

Хозяйева: Где же мы возьмем столько данных? И откуда мы знаем: все нам известно или не все? Это нам и ученые предлагали – давайте все изучим как следует, а потом обсчитаем на ЭВМ. А нельзя ли как-нибудь по-другому? Вот мы слышали, что у вас есть какой-то черный ящик?

Гость: Ну, знаете, такой ЭВМ, чтобы ей рассказать на словах свои жалобы, а она бы выдала рецепт, пока нет. В любом случае информацию нужно сначала перевести на язык математики. А черный ящик – это, в двух словах, вот что. Мы уподобляем вашу базу, нет, установку, кажется так, черному ящику. Что там происходит нам неизвестно. Мы начинаем дергать за разные ниточки на входе и смотреть отклик на выходе.

Хозяйева: Простите, за какие ниточки вы собираетесь дернуть?

Гость: Ну, вы ведь что-то вводите в вашу печь?

Хозяйева: Вы имеете в виду изменение параметров на входе установки?

Гость: Абсолютно верно! Именно параметры. И следить при этом за откликом на выходе. Нам нужно раскатать систему и фиксировать, как она реагирует.

Хозяйева: Как бы не взорваться при этом качании.

Гость: Э-э, батенька, за безопасность отвечаете вы.

Хозяева: А что же потом? Продукта мы при этом загубим сколько?

Гость: Причем тут продукт? Получим поле отклика и будем регрессионным методом подбирать аппроксимирующие функции. Вот и получим математическую модель, но регрессионную. По ней и будем оптимизировать. А можно попытаться метод крутого восхождения применить. Можно, наконец, просто статистику набрать, если у вас разброс данных велик.

Хозяева: Разброс есть, это точно. Приходится все партии материала потом смешивать для усреднения.

Гость: Вот-вот, на обувной фабрике, помню, было то же самое. Правда, смешивать обувь им как-то в голову не приходило.

Хозяева: Хорошо, допустим, мы все это сделаем, вы оптимизируете. Сможете вы оценить – правильно мы выбрали аппаратуру или нет? Можно будет ваши данные использовать при проектировании большого производства?

Гость: Нет, конечно. Наш расчет годится только для этой установки и для тех аппаратов, что у вас стоят. Хотите поставить другие? Ставьте, потом снова будем оптимизировать. А большое производство сначала постройте, а потом уже будем говорить об оптимизации.

Примерно 10–15 лет назад технологи пережили повальное увлечение методами математического моделирования. Но расчеты на чудеса не оправдались. Там, где речь идет о механическом переборе вариантов, там, где нецелесообразно «влезать» в изучение закономерностей, методы планирования эксперимента действительно помогают сэкономить время. Но при изучении сложных физико-химических процессов математические методы эффективны только в сочетании с глубоким пониманием механизма процесса. А без труда, без длительных и сложных экспериментов в лаборатории и на установке в механизме не разберешься.



## «Спасение утопающих—дело рук самих утопающих»

Итак, нередко заводским технологам приходится самим искать выход из создавшегося положения, так что знаменитый лозунг из книги Ильфа и Петрова полностью относится к данной ситуации. И что самое удивительное—в большинстве случаев технологам удается выйти из тупика. Буквально, как бессмертный барон Мюнхаузен, они вытаскивают себя за собственную косичку.

Раз в лаборатории материал получался, он должен получиться у нас!—с этим девизом они вновь и вновь анализируют свою схему, меняют аппаратуру, проверяют сырье, проводят дополнительные исследования в лаборатории. И добиваются успеха, хотя иногда поиски растягиваются на годы.

\* \* \*

Но вот установка отлажена, полимер получен. Теперь нужно готовиться к следующему этапу работы: собирать данные для проектантов. Их будет интересовать решительно все: характеристики аппаратов и материалов, сырье и режимы синтеза, устойчивость работы технологической схемы и способ утилизации отходов.

Но прежде чем встретиться с проектантами, нужно убедиться, что получен именно тот материал, какой нужно. Будет ли он хорошо перерабатываться, действительно ли его свойства лучше, чем у известных полимеров, где он найдет основное применение? Можно ли будет его улучшить, модифицировать, приспособить для каких-то конкретных применений? Достаточно ли он стабилен и устойчив на свету и на воздухе? Можно ли его склеивать, сваривать, к каким материалам и веществам он устойчив, а к каким нет? Нужно получить ответы на тысячи вопросов и быть готовым бороться за новый полимер, доказывать, что он лучше всех.

А как же наш химик—создатель нового полимера? На опытной установке он появлялся эпизодически, обычно в трудные

минуты. Его отношения с технологами нередко бывали натянутыми. Те говорили, что химик недостаточно глубоко проработал в лаборатории многие важные для технологии вопросы. И это действительно так. В истории технологии, наверное, не было случая, когда на опытную установку поступал бы полностью изученный процесс. Тогда, кстати, опытные установки были бы просто не нужны.

Бывает, что результаты, получаемые на опытной установке, наталкивают химиков на новые оригинальные идеи и на свет рождаются новые варианты процессов, новые материалы. Чаще технологи добиваются от химиков проведения новых дополнительных исследований, чтобы разобраться в своих проблемах. Химики часто считают технологов упрямыми и своевольными людьми, которые могут измучить бесконечными требованиями. Но в час испытаний нового материала старые обиды забыты. И химики, и технологи с напряжением ждут результатов оценки своей работы.

---

# ИСПЫТАНИЯ

<b>ПОЛИМЕР ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ПОЛИМЕРНЫЙ МАТЕРИАЛ</b>	138
Как формовать изделия из пластмасс	138
Полимер должен течь	140
Прочность материала и ориентация макромолекул	142
Можно ли лить реактопласты и сшивать термопласты	144
Многоликий экструдер	144
Литье под давлением	146
История кристаллического полистирола	147
Последний каприз полиформальдегида	151
Наука, реклама или торговля?	157
Как достичь нужного качества	159
<b>ПОТРЕБИТЕЛЬ</b>	160
Опасности рекламы	162
Как внедрить новый полимер в автомобилестроение	164
Будут ли полиформом ловить рыбу	165
Когда пластик не выдерживает испытания	166
<b>КАКОЙ МАТЕРИАЛ ЛУЧШЕ?</b>	167
Несколько примеров из «жизни» полиформальдегида	169
Сколько будет выпускаться нового пластика	170

## Испытания

*На страницах книги появляются новые герои. Они принимают эстафету у технологов. Это специалисты по свойствам полимеров и переработчики. Они уже заходили в лабораторию к нашему химику. В этой главе мы познакомимся подробнее с их работой и узнаем, какими капризными бывают потребители.*

### **Полимер превращается в полимерный материал**

Полимер, полученный на опытной установке, еще не является материалом, из которого можно формовать изделия. Это полупродукт или точнее – полуфабрикат. Над ним еще нужно серьезно поработать, чтобы превратить его в полимерный материал.

### **Как формовать изделия из пластмасс**

Для того чтобы определить большинство механических свойств полимеров, с ними приходится поступать крайне невежливо: рвать, тянуть, гнуть, колотить, вдавливать, надпиливать. Но таковы современные методы испытаний. Впрочем, по-

ступают так не одни только полимерщики. Радиотехники при испытании на прочность спихивают новенький телевизор со стола на пол и изучают последствия. А уж как достается новым моделям автомобилей при испытаниях!

Исходный порошкообразный полимер для механических испытаний не годится. Сначала его нужно превратить в образец – прессованный или литой, в волокно или пленку, т. е. переработать в изделие. Любой образец представляет собой изделие, а с различными видами переработки пластмасс приходится сталкиваться даже в быту.

Кому не приходилось склеивать дома полимерные пленки? Способы соединения описаны теперь в книгах для домашних хозяек. Это или сваривание утюгом через газету, или склеивание. Многие современные клеи, мастики, лаки, эмали делают на полимерной основе. При нанесении их на поверхность они полимеризуются (отверждаются) в тонком слое. Это сразу и синтез полимера, и переработка его в изделие.

Отливать пластмассовые изделия в домашней обстановке не приходилось практически никому. Хотя, казалось бы, что тут особенного? Насыпать полимерный порошок в фарфоровую чашку, нагреть, расплавить и вылить в форму, как металл. Полимеры размягчаются всего при 150–250 °С. Это даже не олово и не свинец.

На страницах этой книги мы уже говорили о том, что высокомолекулярные полимеры даже в расплавленном состоянии обладают столь высокой вязкостью, что «просто так» не текут и не заполняют форму. На них нужно давить, и давление требуется не малое – сотни атмосфер. Такое давление можно создать только с помощью специального оборудования – прессов, экструдеров, литьевых машин. Исключение составляют олигомеры, которые в жидком состоянии текут легко и при отверждении часто не требуют применения давления.

Когда в лаборатории синтезированы первые образцы нового полимера, сразу же возникает вопрос – где его лучше всего применять, каким способом перерабатывать в изделия. Обычно еще на стадии лабораторных исследований новый полимер пы-

таются прессовать, лить, вытягивать из него волокно, получать пленку, использовать как покрытие или как добавку к другим компонентам в композиции. Бывают, конечно, полимеры-вундеркинды, при рождении которых сразу становится известным, где следует их применять. Но чаще разработчики носят-ся со своим детищем буквально как заботливые родители, не жалеющих сил, чтобы выяснить наклонности своего ребенка.

### **Полимер должен течь**

Обычно полимеры получают в виде порошков или оплавленных частиц более крупного размера. Как из них приготовить образец для испытаний? Самый старый способ переработки – прессование. Порошок засыпают в разборную форму, имеющую конфигурацию диска, «лопатки» или бруска. Форму устанавливают на пресс. Полимер нагревают для размягчения и надавливают сверху. Через несколько минут расплавленный материал спрессовывается, можно разнять форму – образец готов. Его можно рвать, тянуть, изгибать или подвергать другим воздействиям.

Если взять тонкий слой полимера, то в соответствующей форме можно отпрессовать пленку. В общем не так уж и сложно. Но хорошо прессуются далеко не все полимеры. Лучше всего специальные пресс-порошки – фенольные смолы и другие полимеры, образующие пространственные сетки. Так их и перерабатывают в промышленности на больших прессах.

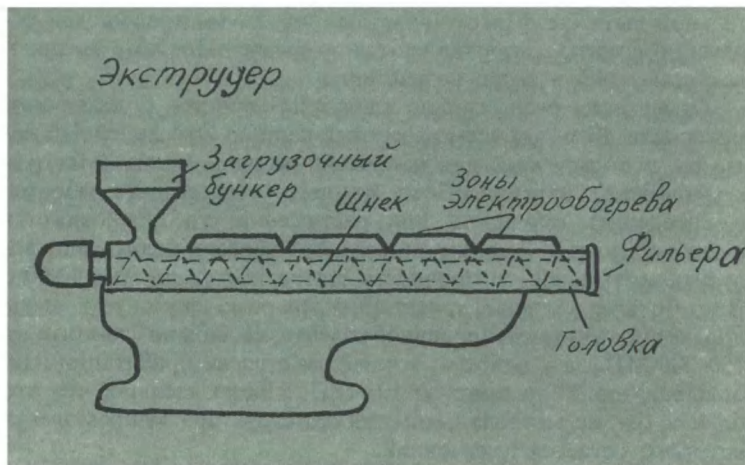
Но процесс этот малопроизводителен: на прессование крупного изделия уходит слишком много времени. Кроме того, большинство термопластов спрессовывается плохо. Это означает, что изделия получаются довольно рыхлые, с малой прочностью. Именно из-за низкой производительности прессования этот процесс уступил первенство литью и экструзии.

Линейные – литьевые полимеры перерабатываются в настоящее время двумя основными способами, обеспечивающими наибольшую производительность, а следовательно, и наиболь-

ший экономический эффект. Это –экструзия и литье под давлением.

Принцип действия экструдера прост, больше всего он напоминает большую мясорубку. У него есть конусное отверстие для загрузки материала –бункер, шнек или винт для транспортирования материала, сетка (фильера) для продавливания, а в определенных случаях и нож. Ручки нет, ее заменяет электродвигатель. Еще одно отличие: шнек экструдера снаружи обогрывается теплоносителем или электроподогревателем.

Экструдер –аппарат непрерывного действия. На различных технических выставках вы можете наблюдать, как оператор неторопливо подсыпает время от времени в бункер из мешка ярко окрашенные гранулы полимера, машина мерно гудит, а с противоположного конца, где установлены какие-то устройства, непрерывно выползает готовый шланг, труба, профильный лист или буквально вываливаются бутылки, банки, флаконы.



Что же происходит внутри этой замечательной машины? Гранулы полимера захватываются шнеком и попадают в зону подогрева. Здесь они разогреваются частично за счет внешнего тепла, а частично за счет трения, расплавляются и перемешиваются. Шнек конструируют достаточно длинным, чтобы все эти операции успели завершиться.

Расплавленная однородная масса с силой выдавливается через фильеру, имеющую профиль изделия. Дальше остается охладить изделие водой и, если необходимо, раздуть, придать ему заданную форму.

Конечно, такой процесс намного производительнее, чем прессование. Но почему прочность материала увеличивается? Может быть давление выше?

### **Прочность материала и ориентация макромолекул**

Нет, все дело в ориентации макромолекул. При плавлении, перемещении и продавливании макромолекулы ориентируются в пространстве, особенно, если материал подвергают дополнительной вытяжке. Макромолекулы, как бы выстраиваются рядами и дружно сопротивляются нагрузке. Поэтому и прочность материала резко возрастает.

Ориентация очень сильно влияет на свойства полимерного материала. Возьмем всем известный капрон. Это линейный полимер, используемый для получения волокна и литевых (экструзионных) изделий. Если из него отпрессовать образец и определить прочность при растяжении, то она окажется очень маленькой. Если же капроновый образец отлить или получить экструзией, то прочность его возрастет до 50–60 МПа. Чем больше степень ориентации макромолекул, тем выше прочность. У ориентированной пленки ее можно довести до 150–300 МПа, а у волокна, в котором степень ориентации наибольшая, — до 500 и даже до 800 МПа! Поразительно, что это один и тот же материал, химическая структура макромолекул которого остается неизменной.



Может быть это специфика волокнообразующего материала? В общем да, материалы этого типа дают при ориентации наибольшее упрочнение. Но возьмем аморфный полистирол. Он не кристаллизуется при вытяжке, здесь эффект ориентации макромолекул должен проявиться наиболее отчетливо. Сначала отпрессуем образец. Прессуется полистирол очень плохо, прочность его очень мала—40–50 МПа у литевых образцов, а прочность ориентированной пленки 90–120 МПа.

Итак, разные методы переработки—разная прочность материала? Но это еще не все. Даже при одном и том же способе переработки на разных машинах и при разной конфигурации форм прочностные характеристики пластмасс могут резко меняться. Они чрезвычайно чувствительны к тонким изменениям режима переработки.

Эта особенность поведения полимеров рождает множество споров среди технологов и потребителей. Вот на заводе-изготовителе наладили производство новой марки полимера. Показатели прочности определяют по ГОСТ, в котором все детали испытаний тщательно оговорены. И все же тончайшие нюансы режимов формования образцов приводят к тому, что получаются результаты, различающиеся на 10–30%.

А на заводе-потребителе свои испытательные машины, там снова отливают образцы. И вот мчатся телеграммы от потребителя к изготовителю: *Партия материала № ... не проходит по ГОСТ тчк Срочно пришлите представителя тчк*. Представитель едет, захватив акты заводских испытаний, и начинает выяснять причины расхождения.

Для полиэтилена в конце концов был разработан новый ГОСТ на испытания прессованных образцов. Хотя абсолютные показатели прочности в этом случае ниже, но они лучше совпадают и позволяют объективнее оценить качество материала.

## **Можно ли лить реактопласты и сшивать термопласты**

Прежде чем вернуться к экструдеру, попробуем ответить на такой вопрос: почему сетчатые полимеры можно перерабатывать только прессованием и нельзя экструзией или литьем? Напомним, что эти полимеры при нагревании становятся жидкими и одновременно химически сшиваются, образуя неплавкую сетку. Нельзя ли эти процессы разделить во времени? Такие попытки делаются, и даже существуют уже машины для литья реактопластов и получения труб из них.

Параллельно возникает другая задача. Термопласты при нагревании расплавляются, а при охлаждении застывают. При формовании изделий это очень удобно. Но зато сами изделия не выдерживают нагрева – теряют форму. При этом деформироваться изделия начинают задолго до достижения температуры текучести. Например, полистирол перерабатывают при 190–220 °С, а размягчаться детали начинают уже при 70–80 °С. Полиэтилен плавится при 130 °С, а размягчается уже при 60 °С.

Можно вводить в полимер добавки, способные при определенных условиях сшивать макромолекулы в сетки. Тогда теплостойкость изделий можно увеличить, перекинув мост от термопластов к реактопластам. Сейчас таким путем уже получают некоторые сорта кабельной изоляции из полиэтилена и поливинилхлорида.

## **Многоликий экструдер**

Теперь об экструдере. Непрерывным способом удобно получать профильные изделия большой длины – трубы, листы и т. д. Правда, мы упоминали бутылки, банки, но заготовкой для них является труба, вытягиваемая непрерывно.

Экструдер используют и для смешения ингредиентов, получения наполненных композиций, сплавов полимеров и гранул. В этом случае часто применяют двухшнековые машины, которые более эффективны, или специальные смесители.

Зачем нужны гранулы и не проще ли все операции совместить в одном экструдере? Действительно, когда знакомишься с технологией производства полиэтилена при высоком давлении, то оказывается, что полимер уже из реактора выходит в виде плава. Затем материал еще раз пропускают через экструдер, чтобы основательно перемешать с красителем, стабилизатором и другими добавками. А потом уж на другом экструдере получают, например, пленку или оболочку для кабеля.

При производстве полипропилена и других полимеров экструдер приходится использовать трижды: сначала из порошка нужно получить проплавленный пруток и разрезать его на гранулы, затем ввести краситель и другие добавки и, наконец, получить изделие.

Совмещение этих операций выглядит очень заманчиво. Ведь каждый раз для плавления и продавливания материала нужно затратить энергию. Да и для самого полимера это не проходит безнаказанно — он окисляется и разлагается при нагревании, снижается молекулярная масса, падает прочность. Наконец, промышленный экструдер — машина дорогая, его шнеки и цилиндры быстро изнашиваются, требуют замены.

Зачем вообще нужны гранулы? Оказывается полимерный порошок сорбирует воздух. При нагревании и формовании пузыри воздуха способны испортить изделие. А если материал сразу получается оплавленным, нельзя ли стабилизаторы и другие добавки ввести предварительно в реактор? Такие попытки делаются. Так же как разрабатываются аппараты, совмещающие смешение компонентов и формование изделий. Но очень уж длинные они получаются.

Несколько лет назад один конструктор пытался создать шнек-машину, в которой последовательно должны были протекать следующие операции: полимеризация, отделение полимера от растворителя, сушка полимера, смешение со стабилизаторами и красителями и формование. Идея заманчива, конечно, и принципиально осуществима. Но как сделать такой длинный шнек?

Литье под давлением – процесс периодический. Порция гранулированного материала попадает в обогреваемый цилиндр литьевой машины, где расплавляется, а затем через сопло выдавливается поршнем в разъемную форму. Цикл литья занимает 30–40 с, форма раздвигается, и готовое изделие выскакивает из нее. После этого форма смыкается и цикл литья повторяется.

Литьевые формы и соответственно изделия могут быть очень сложной конфигурации. Путь расплавленного материала по литникам – каналам – должен быть тщательно продуман. Масса изделий определяется объемом цилиндра машины или, как говорят специалисты, объемом впрыска. Можно отливать крохотные детали массой в доли грамма, можно – детали массой до 7 кг. В первом случае литьевая машина умещается на письменном столе, во втором – с трудом помещается в товарный вагон. Сложные громоздкие конструкции необходимы, чтобы разместить в них гидравлический привод. Ведь поршни литьевых машин развивают давление порядка 100 МПа.

Каким требованиям должен удовлетворять литьевой и экструзионный полимер? Специалист по переработке ответит примерно следующее. Все будет зависеть от способа переработки и требований, предъявляемых к изделиям. Сейчас эти требования весьма дифференцированы, а специфика полимеров заключается именно в том, что их свойства можно в большой степени модифицировать. Вот и получается, что полистирол выпускают 6 марок различного назначения.

Одна предусмотрена специально для литья тонкостенных изделий, т. е. отличается повышенной текучестью; другая предназначена для экструзии; третья – для получения пленки; четвертая – специально для эксплуатации изделий под действием солнечного света и т. д. Во всех случаях это полистирол, но марки различаются молекулярной массой, особенностями структуры, типом стабилизатора и модификаторов. Если нужен материал с повышенной прочностью, вам предложат на-

полненный стекловолокном, если с пониженной плотностью,— то пенопласт или материал, наполненный пустотелыми стеклянными микросферами.

Фактически технология полимеров развивается по пути удовлетворения индивидуальных заказов потребителей.

### **История кристаллического полистирола**

Мы решили проследить судьбу совершенно нового полимерного материала. Про него еще толком ничего неизвестно. Он имеет линейную структуру и отчетливую область плавления.

Кстати, почему же область?—может задать вопрос читатель, знакомый с физической химией неорганических веществ.— Чистое вещество должно плавиться в точке.

Правильно, но полимер—это смесь макромолекул, его кристаллическая структура весьма неоднородна. Поэтому он плавится в интервале нескольких градусов. Для полиформальдегида было показано, что обычно он плавится при 177–182 °С. Но специально выращенные в лаборатории монокристаллы плавятся при 200 °С.

Вообще про кристаллические структуры полимеров можно рассказать много удивительного. Мрачная фантазия Курта Воннегута в «Колыбели для кошки», где описан лед с необычной структурой кристаллов, плавившийся при повышенной температуре, основывается на реальных фактах, накопленных физической химией.

Здесь стоит снова вспомнить катализаторы, разработанные К. Циглером и Д. Натта. Помните, полипропилен, синтезированный до работ Натта, имел неупорядоченную, некристаллическую структуру. Этот аморфный материал не представлял никакой технической ценности. Кристаллический полимер пропилена, напротив, обладает ценным комплексом свойств. От своего неудачного родственника он отличается только расположением боковых метильных групп  $\text{CH}_3$  относительно основной

углеводородной цепи макромолекулы. Если эти группы повернуты в разные стороны, то макромолекулы упакованы хаотично, и материал имеет аморфную структуру.

Исследователи рассуждали примерно так: раз регулярная упаковка боковых групп дала такой поразительный эффект в полипропилене, то нечто подобного следует ожидать для всех других полимеров, в макромолекулах которых есть боковые группы. А таких полимеров немало.

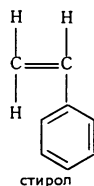
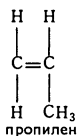
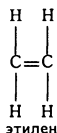
Не вдаваясь в подробности увлекательной охоты за упорядоченными структурами, заметим, что в некоторых случаях удалось получить отличные результаты. Но бывали и неудачи. Самую, пожалуй, неожиданную преподнес полистирол, тот самый тысячекратно изученный полистирол – любимый объект исследований в лабораториях.

Обычный полистирол – прозрачный (следовательно, аморфный!), твердый, хрупкий термопласт. Хотя размягчается он уже при 70 °С, изделия из него формуют при 190–220 °С. Только при этих температурах расплав материала обладает достаточной текучестью, чтобы заполнять формы. Полистирол довольно прочен при растяжении – около 50 МПа, но очень уж хрупок. Удлинение при разрыве у него всего 3–4%, сопротивление к ударным нагрузкам очень низкое. Поэтому несмотря на многие достоинства – легкость формования, твердость, стабильность размеров, – его нельзя применять в ответственных конструкционных деталях.

Конечно, в арсенале химиков многообразные приемы упрочнения материалов – и сополимеризация, и введение армирующих волокон и многие другие. Но путем сополимеризации можно повысить теплостойкость на 10–20 °С, не больше, добавляя 20–30% другого мономера – сомономера. Стекловолокна длиной около 1 мм способны повысить прочность и теплостойкость пластмасс, но они снижают эластичность, а у полистирола она и так низка.

В лаборатории Д. Натта после создания полипропилена полистирол вызвал особый интерес. Дело в том, что молекула стирола – это тот же этилен с боковым заместителем, как и мо-

лекула пропилена. Но заместитель большой – ароматическое кольцо бензола:



В аморфном полимере боковые группы повернуты хаотически. Что будет, если получить стереорегулярный кристаллизующийся полистирол? В особо чистый стирол ввели стереоспецифический катализатор: комплекс хлорида титана и органического соединения алюминия. Полимеризация прошла. Полимер выделили, промыли от катализатора, высушили и стали анализировать. Уже внешний вид полученного порошка свидетельствовал о том, что задача решена – порошок состоял из маленьких кристаллитов. Кристаллический полистирол!

Теперь скорее определить свойства – может быть грянет новая революция в пластмассах? Температура плавления 237 °С – прямо как у полиамида!

Напомним температуры плавления основных промышленных кристаллических полимеров: полиэтилен высокой плотности – 120–130 °С, полипропилен – 160–175 °С, полиформальдегид – 165–180 °С и только полиамиды – 220–260 °С. Полиамиды – прекрасные волокнообразующие и литьевые материалы, высокопрочные, износостойкие. Но у них есть и недостатки: во-первых, высокая стоимость сырья, во-вторых, большое влагопоглощение (несколько процентов). А полистирол и стоит дешево, и в воде почти не набухает.

Все это объясняет, почему лабораторные и опытные работы по технологии получения полистирола были проведены, навер-

ное, в темпе стаккато – не даром авторами разработки были итальянцы. Но вот наступил ответственный этап испытаний нового полимера. Мы начали разговор с того, что у переработчиков к любому новому материалу есть какие-то определенные требования. Не проведя предварительных испытаний, они полимер в экструдер или цилиндр литьевой машины не загрузят. Что это за требования?

1. Полимер должен плавиться без разложения на воздухе.

Хорошо очищенный от катализатора кристаллический полистирол плавился без разложения.

2. Материал должен выдерживать нагревание на воздухе до температуры на 20–40 °С выше его температуры плавления и не разлагаться.

Здесь дело обстоит хуже, так как около 250 °С полистирол на воздухе уже пахнет стиролом, т.е. разлагается. А если воздух заменить инертным газом, то, может быть, он выдержит и 280–300 °С. А зачем, собственно, его нагревать до такой температуры? Ах да, для достижения нужной текучести. Но тут можно что-нибудь придумать – добавить пластификатор для снижения вязкости. Можно, наконец, добавить обычный, т.е. аморфный полистирол с низкой молекулярной массой – это будет идеальный пластификатор.

3. Текучесть расплавленного материала, измеренная на специальном приборе – вискозиметре, должна быть достаточно высокой.

Текучесть и стабильность материала таковы, что его, правда осторожно, можно попробовать лить.

Нужны литьевые образцы, чтобы определить механические свойства – прочность, жесткость, твердость. Полимер загружен в бункер лабораторной литьевой машины. Вот уже отлиты первые «лопатки» для механических испытаний. На «лопатках» явно видны следы разложения.

Может быть неудачно подобраны режимы формования образцов? Пробуются десятки вариантов. Материал нагревают со скоростью 0,1 °С в минуту и с максимальной скоростью –



ничего не помогает. Полимер разлагается при переработке, он не выдерживает нужной температуры.

Может быть все-таки можно что-нибудь сделать? Как-то стабилизировать эту капризную структуру? Нет, не удастся. Уже 25 лет прошло со времени первой публикации Д. Натта, а кристаллический полистирол не выходит из стадии лабораторных исследований.

Расстроенные исследователи даже вынуждены хулить его, как это делал персонаж знаменитой басни «Лисица и виноград», в подобной обстановке: «Он почти ничем не отличается от обычного полистирола: и теплоемкость у них одинакова, и теплопроводность, и температура стеклования, и химические свойства». Все это так, но высокотеплостойкий полистирол, ох, как бы пригодился в технике.

### Последний каприз полиформальдегида

Полиформальдегид тоже подготовил переработчикам несколько сюрпризов. Самым неприятным было сильное разложение полимера при нагревании. Разложение, или *деструкция* полимеров при нагревании может протекать двумя путями. Большая часть полимеров при высоких температурах начинает распадаться в результате разрыва макромолекул. При этом резко снижается средняя молекулярная масса полимера, и, как следствие, уменьшается вязкость и ухудшаются механические свойства. При переработке материалов в слишком жестких условиях, т. е. при перегреве, наблюдается темное окрашивание, изделия становятся хрупкими.

Другая группа материалов при перегреве разлагается до мономера – *деполимеризуется*, как говорят химики. Так ведут себя полиметилметакрилат – органическое стекло, полистирол, поливинилхлорид и некоторые другие. Перегрев материалов этого типа сопровождается выделением газообразного мономера.

Во второй главе мы уже говорили о научном объяснении низкой стабильности полиформальдегида. Но одно дело кор-

ректные заключения ученых, а другое – технологическая практика.

После того как технологи овладели методом блокирования концевых групп макромолекул полиформальдегида, ученые высказали предположение, что уж теперь этот полимер должен перерабатываться нормально. Чем они руководствовались?

Дело в том, что в лаборатории скорость разложения полиформальдегида изучали стандартным способом, применявшимися ко всем другим полимерам. При этом подбирали условия, в которых полимер разлагается достаточно быстро, а затем сравнивали скорости разложения неблокированных и блокированных образцов, а также влияние различных стабилизирующих добавок. Блокирование концевых групп и введение некоторых стабилизаторов давали заметный эффект. По аналогии с другими полимерами делали заключение, что стабильность резко возросла.

Переработчики со спокойной совестью загружали «стабильный» материал в литьевую машину, а дальше вопреки всем научным прогнозам шло сильнейшее разложение материала, образцы пузырились, по лицам технологов и операторов текли слезы (вспомните свойства мономера!).

Предварительно изучали текучесть материала, т. е. вязкость расплава в условиях переработки. Для этой цели обычно используют пластометр – лабораторный прибор, работающий по принципу пресс-литья. В небольшую камеру загружают 3–5 г полимера и нагревают до температуры испытания. Сверху камера закрыта поршнем. Когда заданная температура достигнута, на поршень помещают груз, создающий давление. Материал в виде прутка начинает вытекать из отверстия в нижней части камеры. Скорость вытекания фиксируется.

Скорость вытекания материала называется *индексом течения* и является относительной мерой текучести при переработке. Так вот блокированный полиформальдегид вел себя при этих испытаниях прекрасно, вытекал из пластометра без всякого разложения. А в литьевых машинах разлагался!

В чем же дело? Может быть в машинах более высокие температуры? Нет, проверка показала, что это не так. Может быть всему виной более высокое давление в машине? Нет, давление здесь не при чем.

Материал был роздан в несколько организаций, где имелись литьевые машины различного типа и опытные переработчики. Отовсюду приходят отрицательные заключения—материал разлагается, загазованность помещения, переработка невозможна.

И вдруг из Ленинграда привозят несколько отливок замечательного качества—краны массой около 400 г, сложной конфигурации, с резьбой—и уверяют, что они сделаны из полиформальдегида. Сначала им просто не верят. Затем приходится анализировать материал по всем правилам науки. Из аналитической лаборатории приходит подтверждение—да, это наш материал, сомнений нет.

Теперь на переработчиков обрушивается град вопросов: как вам это удалось, какое оборудование вы применяли, какие стабилизаторы, может быть у вас инертная атмосфера в машине и т. д. и т. п.

— Нет,—отвечали изумленные переработчики,—никаких специальных приспособлений мы не применяли, да и вообще понятия не имели, что это особенный материал. Перерабатывали, как обычно.

В Ленинград срочно выезжает делегация специалистов. В их присутствии формуют новые краны. Техник засыпает полимер в металлический цилиндр и ставит его в электропечь с температурой 250 °С. Побледневшие делегаты пялятся к двери, ожидая, что капризный полимер сейчас «поддаст жару». Но нет, ничего страшного не происходит. Через некоторое время цилиндр достают и без всяких предосторожностей переносят на пресс. Сверху из цилиндра чуть-чуть попахивает формальдегидом, но никакого сравнения с обычной картиной переработки. Чудеса да и только!

Дальше операции очень напоминают измерение текучести, только загрузка материала в 100 раз больше. Сверху устанавли-

вливают поршень, соединенный с прессом, снизу форму, надавливают, материал перетекает в форму, и кран готов. Конечно, этот метод для промышленного производства не годится – низкая производительность, но достигнутый эффект поразителен. Почему же полиформальдегид не разлагается?

Технологи просят консультации у ведущих специалистов по стабилизации полимеров, но те только разводят руками. Крупнейший из них, профессор М. Б. Нейман полагает, что потребует не менее 3 лет для объяснения этого феномена.

Вот типичная ситуация взаимодействия науки и производства! Ученым, чтобы разобраться в механизме явления, требуется несколько лет, но что делать технологам? Опытная установка запущена, на ней трудятся десятки людей. Прекратить работы? Законсервировать оборудование?

Умудренный опытом главный инженер находит неожиданное решение:

– А я вот не буду платить премию технологам, пока не разберутся в чем дело.

Абсолютно ненаучный подход, однако, стимулирует ответственную деятельность. Приходится тщательно анализировать ситуацию. В чем же особенности метода пресс-литья? (см. рис.).

1. *Материал медленно прогревается.*

2. *При прогреве в толстом слое он не перемешивается.*

Ставятся специальные опыты. Оказывается, чем толще слой полимера, тем медленнее он разлагается за одно и то же время при данной температуре. Чем больше давление кислорода, тем быстрее разложение. Разложение замедляется и с ростом средней молекулярной массы, но это «тупиковый» путь – чем выше молекулярная масса, тем ниже текучесть.

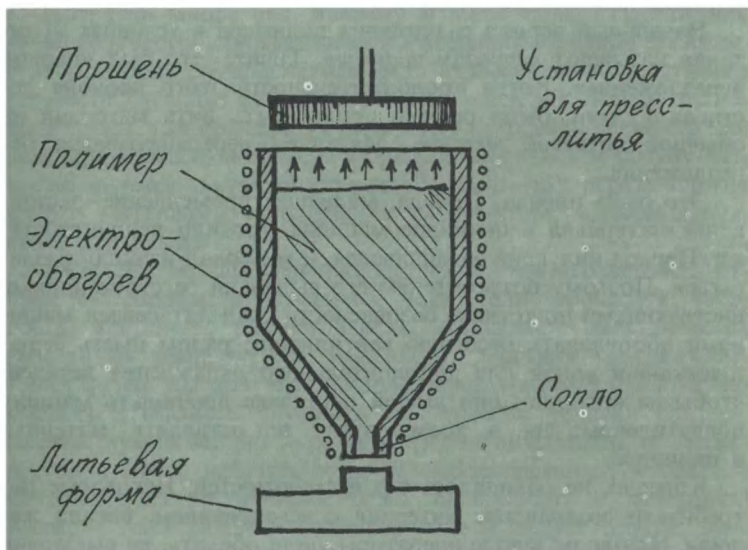
И наконец, важнейшее открытие – скорость разложения не может быть критерием поведения материала в литейной машине и экструдере. Находясь там, полимер вообще не должен разлагаться! Следовательно, скорость разложения 40–80% навески полимера ничего не дает; нужно изучать скорость разложения первых 0,5–1,0% навески.

Теперь технологи приходят в азарт. Нет, конечно, дело не в угрозе лишиться премии. Дело еще и в том, что... неплохо бы доказать этим ученым, что и инженеры кое-что понимают в науке.

Сконструирован новый прибор для измерения стабильности полимера. Когда воодушевленный автор объяснял принцип его действия специалистам по деструкции и стабилизации, те презрительно поджимали губы:

– У вас тут все ненаучно, диффузионное сопротивление неопределенное, макрокинетические эффекты. Все это будет невоспроизводимо и совершенно бесполезно.

Не получив признания у науки, технологи все же на сконструированном ими приборе стали заново проверять эффективность различных добавок к полимеру. И конечно, сравнительно



ная эффективность оказалась совсем другой, нежели при измерении по строго научному методу.

Раз при переработке газообразные продукты не должны выделяться, в полимер нужно добавить какой-нибудь активный поглотитель мономера. Тогда, если стабилизатор не сумеет защитить полимер на 100%, поглотитель не даст мономеру испортить изделия и отравить операторов.

Оказалось, что с подобной задачей уже сталкивались при переработке поливинилхлорида. Там одним из продуктов разложения полимера являлся хлористый водород. В полимер добавляли поглотитель и тем самым спасали аппаратуру от действия хлористого водорода.

Оставалось попробовать добавки соединений, способных активно соединяться с формальдегидом. Их сотни, например различные амины и амиды. Сначала был применен дифенилдиамин, но от него полимер желтел. Ему на смену пришли некоторые полиамиды.

Начальный период разложения полимера в условиях испытания называют *периодом индукции*. Точнее – это был «период неразложения». Когда продолжительность этого периода достигла 15 мин, было решено попробовать лить материал на обычной литьевой машине. Материал перерабатывался без разложения.

Это была победа. Правда, малейшее промедление – застывание материала в цилиндре машины – грозило неприятностями. Период индукции заканчивался, и материал начинал разлагаться. Поэтому потребителям его выдавали со строжайшими инструкциями по технике безопасности: над литьевыми машинами оборудовать отсосную вентиляцию; рядом иметь ведро с холодной водой для дополнительного охлаждения деталей, чтобы не «газили»; при любой остановке прочищать машину полиэтиленом; ни в коем случае не оставлять материал в цилиндре.

Конечно, не обходилось без неприятностей. Некоторые потребители возвращали материал с негодованием, писали жалобы. На одном заводе операторы ушли обедать, не выключив

обогрев и не прочистив машину. Через некоторое время раздался взрыв, шнек вылетел из цилиндра, сорвав 6 толстостенных болтов, и со свистом пронесся по цеху, пробивая на лету вентиляционные короба. Напоследок, пробив окно, он мягко приземлился во дворе.

Но постепенно период индукции рос: сначала 15 мин, затем 20, 25, 30, 40. Руководители одного из перерабатывающих предприятий потребовали от главка, чтобы период индукции был доведен до 200 мин. Главный инженер уже приготовился пустить в ход свой метод «стимулирования научного творчества», но технологам удалось убедить начальство, что подобное значение теоретически невозможно.

Джин был надежно укрошен: ведь обычно полимер находится в цилиндре литьевой машины не более 20 мин.

### **Наука, реклама или торговля?**

Потратив много сил, времени и материала, разработчики научились экструдировать новый материал, получили гранулы. В лаборатории изучена зависимость вязкости и соответственно текучести расплава от температуры и давления. Теперь технологи знают, как примерно нужно отрегулировать среднюю молекулярную массу полимера в процессе синтеза и к какому значению индекса текучести стремиться. Получена первая партия нового материала, пригодная к переработке. Спрашивается, что с ней делать?

– Отдайте ее нам, – говорят механики, – мы отольем или прессуем образцы и изучим все показатели: прочность, твердость, жесткость, теплостойкость, зависимость механических свойств от температуры, влажности, действия ультрафиолетовых лучей. Вы получите полную характеристику свойств материала и сможете улучшать их, изменяя условия синтеза. Кстати, нужно заодно изучить и физико-химические свойства: растворимость, набухаемость, газопроницаемость, стойкость материала в коррозионных средах, способность к склеиванию и сварке, электрическое сопротивление и многое другое.

– Постоите,–перебивают переработчики,–свойства – вещь нужная, конечно, но сначала нужно оценить перерабатываемость на различном оборудовании. Нужно подготовить композиции, посмотреть, какова эластичность. Мы попробуем получить лист, профиль, пленку, выдуть бутылки. Нужно еще изделия сложной конфигурации попробовать – посмотрим, как полимер заполняет форму.

– Зачем зря тратить материал,–вступают наиболее настойчивые потребители,–мы точно знаем, что нам нужно делать из вашего полимера. Давайте проведем комплексные испытания по нашей программе. Вы доведете материал до нужной кондиции, а все эти бутылки, банки и прочий ширпотреб подождет.

– Шеф,–вкрадчиво говорит руководителю технологической разработки наиболее дальновидный сотрудник,–нам нужно отлить что-нибудь поэффектнее и отвезти в министерство. Не забывайте, нам нужны штаты и валюта на приборы, а за диаграммы и графики валюту не дают.

Сколько же всего надо материала? Много, десятки килограммов, сотни и даже тысячи. В общем-то именно для этого опытные установки и создают. Сложность в том, кого в первую очередь удовлетворить и к чьему голосу в первую очередь прислушаться. (Начальство, конечно, не в счет: ему образцы будут отправлены сразу же. Первые образцы новой продукции всегда и везде ценятся очень высоко.)

Опытный руководитель разработки должен суметь удовлетворить всех. Особенно приходится трудно, если новый полимер должен иметь какие-то вполне определенные свойства. Обычно эта ситуация возникает, когда где-то за рубежом уже существует и выпускается в промышленном масштабе прототип, т.е. аналогичный материал.

– Почему же трудно,–может заметить читатель,–наоборот, можно достать образец, проанализировать его структуру, свойства и добиться сходства. Это должно упростить задачу.

Все это так, но никакой анализ не раскроет секреты производства, особенности технологии.



Зарубежные фирмы, которые разрабатывают полимеры, кстати, так и работают. Стоит на мировом рынке появиться новому материалу, как он подвергается тщательнейшему анализу в лабораториях фирм-конкурентов. В результате ни один полимер практически не остается в монопольном обладании у какой-либо фирмы.

### **Как достичь нужного качества**

Над улучшением качества нового полимера можно биться многие годы. Лавсан сразу зарекомендовал себя как прекрасный волокно- и пленкообразующий полимер. Однако литием под давлением и экструзией он перерабатывался плохо. Из-за медленной кристаллизации материала изделия нужно было долго выдерживать в форме. При этом падала производительность литьевых машин, а это невыгодно. Между тем, по своим механическим и химическим свойствам это мог быть прекрасный конструкционный материал для изготовления пищевой тары.

Над повышением скорости кристаллизации расплава лавсана ученые бились около 15 лет. Сейчас в США ежегодно выпускают миллионы бутылок для напитков из этого пластика. Это экономичнее, чем делать их из стекла, так как снижается расход энергии и, кроме того, бутылки не бьются.

Часто возникает ситуация, когда образцы полимера, полученные химиками в лаборатории, удовлетворяют требованиям, а полимер, полученный на опытной установке,—нет.

На выяснение причин у химиков и технологов уходит много времени и сил. Дело может оказаться в особенностях перемешивания реагентов, в их чистоте, в тонких отличиях температуры и во многом другом.

Для рекламы важен внешний вид и цвет изделий. Здесь работников подстерегают очередные трудности. На опытной установке после многочисленных переделок добиться нужной чистоты полимера часто практически невозможно. Для непроз-

рачных материалов выход есть – добавить краситель. По ряду причин разработчики предпочитают благородный и строгий черный цвет. У него масса преимуществ: немаркий, грязи не видно, сажа – прекрасный стабилизатор. Но начальство почему-то сажу недолюбливает.

Ну, а если нужно сделать пленку или получить материал высокой степени прозрачности или повышенной чистоты? Здесь сажа не помощник. Приходится бороться за чистоту: многократно фильтровать исходное сырье, следить за качеством аппаратуры, обеспыливать помещение.

## **Потребитель**

Полимеры проникли буквально во все отрасли народного хозяйства, но всем ли, кто причастен к их применению, хорошо известны их свойства? Мы уже не раз говорили о том, что развитие техники приводит к постоянному увеличению потребности в новых полимерных материалах. Везде, где специалисты ломают голову над новыми техническими задачами, существует интерес к новостям из мира полимеров.

В научно-исследовательские институты непрерывным потоком идут заявки на материалы с новыми или улучшенными свойствами. Конструкторы, механики, радиотехники, электрики и многие, многие другие внимательно следят за новинками отечественной и зарубежной научно-технической информации. Используются любые источники: научно-популярные журналы, международные выставки, сообщения радио и телевидения.

Не успели химики получить первую опытную партию нового полимера, а на завод слетаются наиболее нетерпеливые разработчики. Гонит их благородная страсть: решить наболевшую техническую задачу, первыми исследовать новый материал, осуществить с его помощью давно задуманную идею, снизить себестоимость производства или ликвидировать дефицит.

– Нельзя ли у вас попросить немного материала для дипломных работ на кафедре?

– Мы хотим разработать новое покрытие и считаем, что ваш материал будет перспективным.

– Нам нужно изготовить детали бензопилы для работы в различных условиях. Мы перепробовали уже два десятка полимеров.

– У нас большой дефицит на бук для изготовления шпудлей для текстильного производства. Может быть удастся заменить?

К энтузиастам следует относиться с осторожностью. Умело направленный энтузиазм способен горы свернуть. Но так же легко дискредитировать новый материал, неправильно определив его возможности. К тому же, нередко повышенный интерес к новому полимеру проявляют вовсе не те, кому он прежде всего предназначен.

И вот перед тем, как дать образец полимера, приходится вести подробный «допрос» потребителя, да еще заводить на него «дело». Что вы собираетесь изготавливать? А какое у вас есть оборудование? Какой опыт вы имеете по переработке пластмасс? В каких условиях будет работать у вас деталь: нагрузка, температура, влажность, среда? Что вы применяете в настоящее время? Каковы затраты? Что вас не устраивает? На какой экономический эффект вы рассчитываете? Какова будет ваша потребность в материале в ближайшие годы? – вот далеко неполный перечень вопросов к потребителю.

Разработчики мечтают о щедром, покладистом потребителе, который мог бы стать оптовым заказчиком на материал, которого устроила бы цена, выгодная для завода-изготовителя.

Потребитель мечтает о дешевом материале, применение которого не вызвало бы затруднений и обеспечило бы максимальный эффект. Технологам выгодно производить материалы подороже, тогда с меньшими затратами труда можно выполнить план.

Объем будущего производства нового полимера зависит от многих причин – наличия сырья, капитальных затрат, но прежде всего от потребностей и возможностей потенциальных потребителей. Поэтому опытные работы по применению нового

полимера приходится ставить широко, привлекая десятки и даже сотни организаций. В ход идут реклама, сообщения в газетах, по телевидению, по радио.

### **Опасности рекламы**

К каким неожиданным последствиям может привести злоупотребление рекламой, видно из следующего происшествия. Когда начиналась эпопея испытания полиформальдегида, инженеры долго объясняли молодому журналисту, откомандированному одной солидной газетой, особенности применения нового материала и его преимущества перед традиционными материалами.

По-видимому, журналист слушал не очень внимательно или что-то перепутал в своих записях, во всяком случае через несколько дней, открыв газету, инженеры с ужасом прочитали заголовки статьи: «Прочнее стали».

Журналисту можно посочувствовать; он не химик, не металлург. Ему долго объясняли, что новый полимер способен заменить металлы в некоторых случаях. Специфика жанра требует броских заголовков, вот и получилось «прочнее стали».

Что потом началось! Из НИИ пожарной охраны пришло письмо с просьбой срочно выделить несколько тонн материала для изготовления брандмауэров – негоряемых перегородок в зданиях. Между тем полиформальдегид горит замечательно и сгорает без остатка – уникальное свойство для некоторых других целей, но отнюдь не для пожарных.

Из одного НИИ по сельскому хозяйству запросили: нельзя ли изготовить лемех плуга, так как твердые сплавы быстро истираются. Мостостроители заинтересовались возможностью изготовления мостовых пролетов, конструкторы – шариков для тяжело нагруженных шарикоподшипников и т. п.

У журналистов свои трудности с популяризацией последних достижений науки и техники. Вот типичная сценка переговоров

технолога с прессой, происшедшая 15 лет назад, но не потерявшая актуальности и теперь. Впервые было налажено производство лавсановой пленки, обладающей высокой прочностью. Интервью у технологов брала журналистка из молодежной газеты.

– Это, понимаете, очень прочная пленка. Ее, например, нельзя разорвать руками. Вот попробуйте.

– А зубами можно?

– Зубами? Не знаем, не пробовали.

– Дайте пример ее применения, только поэфффективнее, пожалуйста, для молодежи.

– Ну вот брюки из лавсана не мнутся, утюжить не надо – молодежь это наверное оценит.

– Это старо, к тому же брюки ведь не из пленки делают.

– Конденсаторы прекрасные получаются – поверхностное сопротивление очень высокое.

– Нет, это слишком специально.

– Не знаем даже, что Вам еще сказать. Писали, что воздушные шары за рубежом из нее делают – зонды для исследования атмосферы.

– А у нас делают?

– Не знаем.

– Нет, не годится. Ну, что-нибудь еще поинтереснее.

– Ах вот, отличный пример для молодежи. Вы берете курицу, лук, картошку, морковку, все это в пакет из лавсана, запаиваете и бросаете варить в ... бак, где кипятится белье. Изумительно все сварится, полная непроницаемость гарантируется.

(Пауза, корреспондентка задумалась)

– Вам что-нибудь не ясно?

– Нет, я думаю, как же достать курицу, если пакет зубами не разорвешь.

## Как внедрить новый полимер в автомобилестроение

Новые пластмассы и новые конструкционные материалы проходят длительный путь испытаний прежде, чем превратятся в серийные изделия. Сначала образцы материала испытывают в лаборатории, затем испытания на стендах, потом в натуре. Если речь идет о детали автомобиля, то она испытывается примерно 3 года. Автомобиль должен наездить определенный километраж и в пустыне, и в тундре, и по горным дорогам, и по проселкам. Специалисты должны изучить поведение детали, собрать и проанализировать статистические данные и только после всего этого дать заключение о пригодности нового материала.

Для того чтобы внедрить деталь из нового материала, часто нужно не только провести успешные испытания, но и преодолеть многочисленные барьеры. Вспоминается как раз случай с автомобильными деталями. Поскольку изделия из полиформальдегида удачно сочетают достаточную прочность с жесткостью и упругостью, из них целесообразно было попробовать сделать детали, работающие при переменных нагрузках.

Несколько деталей было спроектировано и изготовлено, в том числе дверные ручки. Два с лишним года ушло на испытания. Но вот получены положительные заключения. Осталось подписать распоряжение о начале серийного выпуска. Но главный инженер автомобильного завода колеблется: пластмассы – новые материалы в автомобилестроении, а вдруг что-нибудь будет не так. Да и выгода от замены металлов небольшая, стоит ли рисковать?

Сейчас в связи с дефицитом топлива во всем мире автомобилестроители с надеждой смотрят на пластмассы как заменители металлов. Началось соревнование за увеличение суммарной массы пластмасс в общей массе автомобиля. Достигнутый уровень 90–120 кг. Если учесть, что легковой автомобиль весит около 1 т, то как-будто немного? Но экономия металла примерно в 3 раза больше. А это уже значительный эффект. Из

пластмасс делают десятки деталей: рулевое колесо, приборный щиток, пепельница, инструментальный ящик, крючки для одежды, вентилятор, корпус аккумулятора, крышка карбюратора и т. д.

На новейших моделях появились бамперы, сделанные целиком из стеклонаполненного полиэфира или полиуретана. Американская фирма «Фаррел», специализирующаяся на выпуске оборудования для переработки пластмасс, объявила, что к 1985 г. сможет оснастить легковые автомобили крышками багажников, капотами и дверями, изготовленными из специально вспененного ударопрочного полистирола и поликарбоната. Новые материалы получают по особой технологии, они имеют сплошную оболочку и пористый внутренний слой. За счет такой структуры достигается повышенная жесткость, что очень важно для конструкции.

Еще большие перспективы сулит применение углепластиков – особо прочных, жестких и легких материалов. Автомобиль будущего не будет бояться коррозии, будет легкий, а расход бензина, по-видимому, снизится до 4–6 л на 100 км.

### **Будут ли полиформом ловить рыбу**

Профессор А. В. Юдин из Киевского политехнического института – настоящий энтузиаст своего дела. Его увлекла возможность получения волокна из полиформальдегида, и он много лет работает над этой проблемой.

К волокнообразующим полимерам предъявляют весьма жесткие требования. Вот и получается, что хотя волокно можно вытянуть из любого термопластичного полимера, в промышленности ассортимент синтетических волокон относительно невелик: капрон и другие полиамиды, лавсан, полиакрилонитрил (ПАН) и еще несколько.

Полиформальдегидное волокно – полиформ – удовлетворяет многим требованиям по прочности, технологичности, внешнему виду. Профессор Юдин считает, что в ряде областей полиформ сможет заменить дефицитный капрон. На совещаниях и

в частных беседах профессор и его сотрудники горячо убеждают всех в достоинствах и перспективности полиформа.

– Но зачем нужен ваш полиформ, если капрон прочнее, стабильнее и его температура плавления выше на  $40^{\circ}\text{C}$ ? – спрашивают оппоненты.

– В текстильной и легкой промышленности капрон лучше, но не для технических нужд, – отвечают патриоты полиформа. – Фильтровальные ткани, портянки, рыболовные сети дешевле и эффективнее делать из полиформа. Кстати, капитальные вложения будут тоже ниже.

– Но причем здесь портянки?

– Формальдегид, выделяющийся из волокна в небольших количествах, обладает антисептическим действием.

– Ну а сети чем лучше? Во всем мире их делают из капрона.

– Полиформ почти не набухает в воде и более жесткий, чем капрон. Это позволит траулерам вести лов с большой скоростью.

Будем надеяться, что энтузиазм сотрудников профессора Юдина не иссякнет, и траулеры рыболовного флота будут оснащены сетями из полиформа.

### **Когда пластик не выдерживает испытаний**

Иногда, правда, усилия потребителей оказываются тщетными по объективным причинам – материал не выдерживает условий испытаний. В таких случаях упорство потребителей начинает раздражать. Если в начальной стадии испытаний все – и разработчики, и потребители – заражены энтузиазмом, то в конце настроение начинает меняться.

– Ну, как на этот раз, удачно? – скептически спрашивают химики.

– Вы знаете, уже очень прилично – деталь проработала целых 10 минут в сильно коррозионной среде.



- А сколько она должна проработать?
- Два часа, но вы не огорчайтесь, я абсолютно уверен, что ваш материал пойдет.
- Да как же он подойдет, если у вас 150 °С и сильно кислотная среда! Мы же предупреждали – наш полимер не выдержит подобных условий, сколько бы мы с вами не мучались. Зря тратим время.
- Нет, нет, я уверен, все будет хорошо. Мы только покроем деталь снаружи эпоксидной смолой. Кстати, вы не могли бы градусов на 30 поднять теплостойкость?
- В принципе, можно, наверное, что-то сделать, сшивающий агент дать, например. Но это же специальную научную работу нужно ставить! А где гарантия, что эта злосчастная деталь пойдет в серийное производство?
- Уверяю вас, это очень важно. А не пройдет эта деталь, мы придумаем что-нибудь еще.

## **Какой материал лучше?**

Представьте себе, что вы инженер-конструктор и трудитесь над созданием какого-либо бытового аппарата – соковыжималки или кофемолки. Для облегчения и удобства желательно сконструировать ее из полимерных материалов. Из каких? Конструктор вооружается справочниками и начинает сравнивать механические свойства различных пластмасс. Но данные справочников быстро приводят его в уныние. По приводимым там цифрам различные полимеры часто очень уж похожи друг на друга.

И потом, если разрывная прочность данного полимера 50 МПа, то на какую же среднюю нагрузку можно рассчитать деталь? Данные по прочности приводятся при 20 °С, а что будет при 40 или при –30 °С? Эти полимеры очень чувствительны к температуре, нагреешь, например, до 80 °С, а прочность и упадет в два раза.

Приходится обращаться к специалистам-полимерщикам за консультациями. Какой материал вы посоветуете? Полиэтилен слишком мягок, а полистирол слишком хрупок. Может быть полипропилен?

– Надо пробовать разные материалы, – вероятнее всего ответят специалисты, – полипропилен тоже недостаточно жесткий. Может подойдет стеклонаполненный материал, но его производство пока ограничено. Попробуйте капрон, полиформальдегид, поликарбонат – это типичные конструкционные материалы. Выше 120 °С можно попробовать стеклонаполненный полибутилентерефталат – новый материал, родственник лавсана.

– В чем же между ними принципиальная разница? Из справочников это как-то не очень ясно.

– Капрон химически весьма стоек, прочен, устойчив к ударам. Очень устойчив к истиранию – это для вас ценно. Пожалуй, жесткости не хватает, твердости. Еще заметно набухает в воде.

– А как цена, доступность?

– Из всей тройцы наиболее дешев и доступен.

– А чем замечателен поликарбонат?

– Прозрачен, сверхустойчив к ударным нагрузкам.

– Наверное, есть и недостатки?

– Да, как-будто не очень устойчив к длительным динамическим нагрузкам, еще модуль упругости не высок, т.е. не очень жесткий. Зато теплостойкий, выдерживает кипячение – в общем, прекрасный материал. Жесткость повышают наполнители, стекловолокно, например, или мел, тальк, каолин.

– Полиформальдегид, судя по справочникам, более хрупок?

– Да, по ударной вязкости он заметно уступает этим двум, но зато явно превосходит их по упругости, твердости, жесткости, стабильности размеров.

– В литературе уже лет десять фигурируют и другие конструкционные пластики: пентон, полифениленоксид, полисульфон, АБС-пластик, появляются новые. Вот вы упомянули ПБТ – полибутилентерефталат. Что вы скажете о них?

– Тут снова нужно сказать, что без проверки материала в конкретных условиях выбрать наилучший практически невозможно. Ни в каких справочниках все свойства полимеров не опишешь. Потом, следует учесть, что западные фирмы рьяно заинтересованы в рекламе своего пластика. Конечно, каждый из перечисленных вами полимеров обладает своим комплексом свойств, но все они, кроме АБС-пластика, до сих пор производятся в небольших количествах. На ПБТ мода только начинается. Оказалось, что это незаменимый материал для изготовления деталей зажигания.

А сополимер АБС – тройной сополимер, названный по начальным буквам названий мономеров (акрилонитрил – бутадиен – стирол) обладает чрезвычайно удачным сочетанием свойств. Он, если так можно выразиться, нашел свою экологическую нишу в технике, и объем его производства растет не по дням, а по часам.

Правда, и у него уже появились конкуренты. Дело в том, что АБС-пластик сравнительно дорог. Кроме того, из-за наличия в нем каучука он быстро стареет – становится хрупким. И вот часть химиков взялась за усовершенствование АБС-пластика, пытаясь вместо каучука ввести туда трудноокисляемые эластомеры. Другие начали создавать материал с тем же комплексом свойств, но на новой основе. Оказалось, что наполненный минеральными наполнителями полипропилен может успешно конкурировать с АБС-пластиком в некоторых изделиях.

Есть надежды, что в это соревнование включится наполненный полистирол.

### **Несколько примеров из «жизни» полиформальдегида**

Не всегда пластмассы удачно заменяют металлы. Некоторое время назад конторскую мебель у нас выпускали с ручками, изготовленными из фенольной смолы. Они явно не были рассчитаны на нагрузки и отламывались сразу же или через не-

которое время. Такая же участь ожидала дверные ручки и ручки для дамских зонтиков, изготовленные из сополимера стирола. Оказалось, что этот материал недостаточно устойчив к динамическим нагрузкам, быстро устает. Пришлось конструкторам возвращаться к металлическим ручкам.

Между тем полиформальдегид, как показала зарубежная практика, легко справляется с этими нагрузками. Отличился этот полимер и в таком тонком деле, как производство часов.

Механические часы исправно служат человеку со времен средневековья. Испокон века шестеренки для них точили и штамповали из металлов: меди, латуни, бронзы. Правда, в музее можно увидеть и деревянные часы, но это курьез.

Можно ли отлить механизм часов из пластика? Конечно, можно. Детские пластмассовые прозрачные часы из цветного полистирола появились несколько лет назад. Но, а если не игрушечные, а настоящие, чтобы работали и при +40, и при -40 °С, в сухости и в сырости, не боялись ударов, не ржавели в воде? Для этого нужен пластик с особыми свойствами: твердый, жесткий, прочный, с высокой стабильностью размеров, с низким коэффициентом трения.

И представьте себе, полиформальдегид подошел для этой цели. При этом не только не упала точность хода часов, но и оказалось, что значительно снижается их себестоимость. Первыми освоили производство таких часов, наручных и настольных, в Швейцарии. А недавно в печати сообщалось, что технологию производства часов из полиформальдегида освоили на Ереванском часовом заводе и за один год получили 600 тыс. руб. экономии.

### **Сколько будет выпускаться нового пластика**

Итак, потребители определяют судьбу новых полимеров. Есть повышенный спрос, химики будут проектировать и строить крупные установки. Нет активного давления потре-

бителей, они колеблются, присматриваются – не будут спешить и химики. Обидно, но именно так и произошло с полиформальдегидом. Исследовательские и опытные работы были проведены оперативно, материал испытывали многочисленные организации. Но аппетит потребителей просыпается медленно. Отсюда и задержка с промышленным развитием.

Наверное, как и везде, были объективные трудности. Нестабильность материала при переработке напугала многих. Проектировщики назвали вначале чрезмерно большие суммы капитальных вложений, завысили себестоимость материала. Значит, и у потенциальных потребителей снизился или даже совсем исчез расчетный экономический эффект, получаемый от применения материала.

Когда руководители отрасли решали вопрос о сроках строительства и объеме будущего производства, то разгорелись бурные споры. Оказалось, что потребность в материале будет в большой степени определяться его ценой. Цена – функция степени сложности и отработанности технологии и объема производства. Получается заколдованный круг! Потребители говорят: «Дайте нам материал по 1 рублю за килограмм, и мы возьмем 40 тысяч тонн в год».

– А если по 3 рубля за килограмм?

– Тогда возьмем 2–3 тысячи тонн, не больше.

Теперь все зависит от интуиции руководителей отрасли. Заложить крупное производство – тогда себестоимость будет ниже. Но возьмут ли потребители такое количество нового материала? Опыт показывает, что у них аппетит приходит во время еды.

Но может получиться и так, что средства будут вложены. большое производство построено, а спроса на материал несколько лет не будет? И придется оборудование консервировать?

– Нет уж, лучше развивать мощность постепенно, пусть лучше будет дефицит, – могут рассудить в главке.

Логично, конечно, и спокойнее; вроде как государственные средства сэкономили. Но дефицит действительно может обра-

зоваться и изрядный. А чем он оборачивается для народного хозяйства? Прямым убытком, снижением производительности труда, эффективности. Вот и получается, что чрезмерная осторожность при внедрении новых материалов ничего хорошего не дает.

Где же пролегает правильный, научно-обоснованный путь? Неужели и на новые технические материалы распространяет свою власть изменчивая мода? Да, представьте себе, распространяет. Все же границы возможностей новых материалов можно оценить, зная сумму их свойств и соотношение затрат и объемов производства. Разработчики новых материалов обычно выводят из этих расчетов благоприятные для себя цифры. Но, наверное, прав один из руководителей, сказавший однажды: «Имейте на одного технолога пять специалистов по применению нового материала, тогда не будет проблем с его использованием».

---

# ЗАВОД

КОЕ-ЧТО О ПРОЕКТЕ, ПРОЕКТАНТАХ И ТЕОРИИ ПОДОБИЯ	175
Три главных закона проектирования	177
Когда проектант экзаменует ученых	178
О размерах химических реакторов, температурах и давлениях	179
Загадки теории химического подобия	182
Разговор технолога с проектантом	183
Кто работает в проектном институте	185
Дизайн в технологии	188
Где разместить завод?	189
Последнее слово за экономистами	190
О БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННИКОВ И ДЛЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ	193
Вредно ли работать в химической лаборатории?	194
Почему на химических заводах такой неприятный запах?	195
Как очистить воду?	196
ЗАВОД ВСТУПАЕТ В СТРОЙ	198
Как «сварить козла»	201
Агрегат пущен	204

КАК ПОЛУЧАЛИ ПОЛИСТИРОЛ	205
Семья полистирольных пластиков	208
Ударопрочный полистирол в Ленинграде и в Кусково	211
Тонкости структуры полимера и его свойства	214
Возможны ли образцовые проекты?	214
ПОЧЕМУ ТЕХНОЛОГИЯ ТАК ТРУДНО СОЗДАЕТСЯ	215
Метод математического моделирования	217
Почему технология так быстро устаревает	218
Взгляд в будущее	220



*Вместе с исследователями и технологами мы прошли путь от первых опытов в колбе до испытания нового полимерного материала. Остался последний шаг – создание промышленного производства. В этой главе мы узнаем о работе проектантов, о том, как непросто запустить промышленный реактор, и о том, почему любая технология получения полимеров так быстро устаревает.*

### **Кое-что о проекте, проектантах и теории подobia**

Когда нужно было сконструировать опытную установку, инженеры-технологи обходились своими силами или довольствовались помощью заводского конструкторского бюро. Считается, что в этом случае работа идет быстро и без разных ненужных формальностей. Но проект большого производства мощностью в сотни или тысячи тонн полимера в год по плечу только специальному проектному институту.

В проекте должно быть предусмотрено решительно все: откуда и сколько подавать воды, пара, электроэнергии, как утилизировать отходы, кто будет поставлять сырье и полуфабри-

каты, каких и сколько аппаратов и приборов нужно, как их разместить и т. д.

По чертежам строительной части проекта строители должны возвести здания и сооружения, монтажники – установить аппараты, протянуть газо- и трубопроводы. По описанию, входящему в пояснительную записку к проекту, технологи завода должны наладить производство и получать полимер заданного качества с затратами, предусмотренными проектом. Сердце проекта – технологическая схема производства.

– Пойдите, пойдите, – может воскликнуть читатель, внимательно прочитавший третью главу, – технологическую схему уже выбрали технологи на опытной установке. Задача проектантов, по-видимому, просто увеличить объемы аппаратов.

Вообще-то технические решения, выбираемые проектантами, вовсе не обязательно совпадают с решениями, найденными на опытной установке. В проектном институте сидят тоже технологи, конструкторы, автоматчики, т. е. специалисты с тем же образованием, что и в опытном цехе или технологической лаборатории. Пропать между ними и разработчиками не столь велика, как между технологами и исследователями. Но все-таки к решению задач они подходят с разных позиций.

Все, кто трудится на опытной установке, – немного фантазеры. Далеко не все технические решения им удастся осуществить или проверить в полной мере. Мешает нехватка времени, несовершенство оборудования и множество других факторов. Немаловажную роль играет интуитивное убеждение технолога, его уверенность в том, что выбранное инженерное решение аппарата наилучшее.

Проектанты (точнее их руководители) – люди осторожные, трезво мыслящие, те, кого часто в жизни называют формалистами. В красивые идеи они обычно не верят; им подавай точный расчет и статистические данные экспериментов.

В свое оправдание они обычно говорят так: на опытной установке, если что-то не получается, то разобрать, переделать – ничего не стоит. А представьте себе, что означает любая неплановая остановка или переделка в промышленном про-

изводстве. Это же огромные потери времени, сил, средств, невыполнение производственной программы и тому подобное. Нет, в проекте самое главное – это надежность решений. Риск должен быть сведен к минимуму.

Какими же расчетными методами владеет проектант?

### **Три главных закона проектирования**

Проектант свято верит в три догмы:

- 1) сохранение материального баланса (сумма масс реагентов, загруженных в реактор, должна равняться сумме масс продуктов, выгруженных из него);
- 2) сохранение теплового баланса (все тепловые потоки должны быть учтены);
- 3) теорию подобия.

Первые две основаны на фундаментальных законах природы. При проектировании, безусловно, важно, чтобы материальные потоки на входе технологической схемы и на выходе были равны. То же относится и к тепловым потокам. В тепловом балансе учитывается и тепло реакции – его количество и скорость выделения.

Казалось бы, проектанты должны выступать в роли экзаменаторов, в руки которых стекается вся информация о процессе и материале, собранная на предварительных ступенях разработки. Но для того чтобы в полной мере выполнить роль экзаменаторов, проектанты должны владеть всей суммой знаний, которой владеют исследователи, технологи, конструкторы и переработчики.

В жизни так не бывает – нельзя объять необъятное. Проектантам приходится ограничивать свои задачи. Обычно они не касаются закономерностей, связывающих свойства полимера с условиями его синтеза. Их интересует «оптимальный» режим, выбранный на опытной установке. На веру они принимают, что этот режим обеспечит получение полимера с заданным комплексом свойств.

## Когда проектант экзаменует ученых

Если проектант, не получивший подготовки физико-химика, начнет глубоко вникать в механизм синтеза полимера, то это чревато различными недоразумениями.

Как-то один из опытных проектантов захотел принять активное участие в научном семинаре, посвященном разбору возможных механизмов синтеза одного из полимеров. Пока исследователи, сменяя друг друга у доски, рисовали различные механизмы реакции и небрежно набрасывали уравнения элементарных стадий, проектант внимательно следил за ними и что-то быстро записывал. После окончания семинара он возмущенно заявил, что в отчете исследователей, с которым он предварительно ознакомился, скрыты очень важные данные, которые полностью переворачивают представления о будущем технологическом процессе.

Когда изумленные исследователи попросили объяснить в чем дело, проектант торжествующе показал им в своем блокноте запись одного из уравнений реакции, которое обсуждалось на семинаре.

– Я подсчитал материальный баланс этой реакции; у вас здесь выделяется атомарный водород! – многозначительно произнес он.

– Ну и что? – удивленно спросили исследователи.

– Как – ну и что? Получается, что в сутки в промышленном реакторе будет выделяться 50 кубометров атомарного водорода! Куда мы его денем?!

Его с трудом удалось успокоить, заверив, что с материальным балансом все будет в порядке, а сотрудник, небрежно написавший на доске уравнение элементарной стадии (не уравнивший коэффициенты), получит дисциплинарное взыскание.

В данном эпизоде проектант, излишне формально применив свой метод проверки правильности химических расчетов, оказался в анекдотическом положении. Но можно привести множество обратных примеров, когда небрежность в подсчете ма-

териального баланса на стадии исследований и опытных работ чреваты неприятными последствиями при промышленном производстве.

Типичнейший пример – рециркуляция мономера, реагентов или компонентов растворителя (реакционной среды). В лаборатории, в стеклянной установке многократные операции по использованию возвратного сырья могут протекать без затруднений. Хроматографический анализ показывает, что накопления примесей не происходит. На опытной установке бывает, что по различным техническим причинам возвратное сырье многократно не используется.

Данные по материальному балансу закладываются в проект. В отличие от лаборатории и опытной установки в промышленном производстве ничто просто так не сливается и не выбрасывается. Теперь представьте себе разочарование заводских технологов, когда при пуске производства выясняется, что в оборотном потоке реагента накапливаются большие количества побочных продуктов, не предусмотренные проектом.

Обычно – это следствие каталитического действия металла, высоких температур, окисления и большого времени пребывания реагентов в аппаратуре. Загрязненный реагент нужно дополнительно очищать от побочных продуктов, а для этого нужна специальная аппаратура; расход реагентов повышается, растет себестоимость продукта.

Вот почему проектанты требуют от разработчиков доскональных материальных балансов различных стадий технологического процесса.

### **О размерах химических реакторов, температурах и давлениях**

Мы уже говорили о том, что все процессы получения полимеров протекают с выделением тепла. Это означает, что в процессе работы промышленного реактора тепло от него нужно

отводить. В простейшем случае нужно рассчитать поверхность теплообмена, количество хладагента и его температуру, чтобы тепловой баланс реактора сохранялся и температура полимеризации была такой, какую требуют химики.

Простейшие расчеты такого типа по плечу старшекласснику, но в инженерном расчете нужно избежать множества подводных камней. Например, вопрос устойчивости работы реактора. Система охлаждения должна справляться с возможными отклонениями режима процесса от расчетного. Другими словами, нужен запас мощности охлаждения. Часто полимеры в процессе образования налипают на стенки реактора, образуя пленку или корку. Естественно, что теплопроводность поверхности при этом падает, «снять» (отвести) тепло становится трудно.

В современных технологических процессах часто требуется очень тонкое регулирование температуры реактора. Для этой цели применяют ЭВМ. Интервал температур, используемых в синтезе полимеров, достаточно велик: от  $-70$  до  $+300$  °С. При низких температурах ведут процессы катионной полимеризации. В этом случае катализатор крайне чувствителен к температуре и при малейшем ее увеличении качество полимера ухудшается. В то же время скорость реакции очень высока. В таких необычных условиях получают полиизобутилен – один из видов синтетического каучука. В качестве хладагента используют жидкий этилен. А максимальные температуры приходится применять при получении полиэтилена при высоком давлении.

Как выглядит промышленный реактор для полимеризации? В простейшем виде это котел с мешалкой и внешней оболочкой (рубашкой) для подвода хладагента. Еще несколько лет назад реакторы объемом  $5-10$  м<sup>3</sup> считались весьма большими. Процессы периодической полимеризации проводили в одном аппарате, а для непрерывного процесса ставили батарею – каскад последовательно соединенных реакторов. Реакционная смесь перетекала или перекачивалась насосом из одного аппарата в другой. Каскады бывали очень длинными – до 20 аппа-

ратов в производстве синтетических каучуков. Суммарный объем реакторов определяется скоростью полимеризации.

Мешалки могут быть различной формы в зависимости от свойств реакционной смеси. Особенно сложно рассчитать мешалку для перемешивания высоковязких полимерных сред. Если неправильно выбрать конструкцию мешалки, то реакционная масса будет неоднородной. Это чревато неприятностями: качество полимера будет ухудшаться, возможны местные перегревы и разложение продукта.

При сильном перемешивании высоковязких полимерных растворов выделяется большое количество тепла – так называемое тепло диссипации. Его необходимо учесть в тепловом балансе.

В особых случаях проектировщикам приходится отказываться от котла с мешалкой и изобретать реакторы более сложной конфигурации. Например, при полимеризации этилена при давлении в 100–300 МПа создать котел огромного объема просто невозможно. Приходится конструировать реактор в виде трубы с толстой стенкой и небольшим диаметром длиной 1–3 км.

В последние годы в полимерную технологию пришла гигантомания. Чем больше реактор, тем меньше относительные расходы на его обслуживание, тем дешевле продукт. И вот появляются реакторы объемом 50, 100 даже 200 м<sup>3</sup>. Появляются технологические «нитки», включающие реактор и вспомогательное оборудование, способные производить 50, 100 тыс.т полимера в год.

Правильно рассчитать, спроектировать такую машину – сложнейшая инженерная задача. Но допустим, что все трудности, связанные с анализом материального и теплового баланса процесса, преодолены. Остается справиться с теорией подобия.

Мы уже сталкивались на страницах этой книги с задачей, заключающейся в том, чтобы отвести через стенку тепло в большом сосуде, геометрически подобном маленькой колбе. При проектировании большого реактора, исходя из данных, полученных при работе маленького, такие задачи возникают на каждом шагу.

Как в большом реакторе обеспечить точно такое же перемешивание реагентов, что и в маленьком? Если сделать геометрически подобную мешалку, то нужный эффект не получится. Анализ проблемы приводит к парадоксальному выводу: условия перемешивания сохранятся, если вязкость среды возрастет во столько же раз, во сколько вырос объем реактора.

Но это невозможно! – воскликнет любой химик. Если свойства среды так изменятся, то химические процессы пойдут по-другому.

Что же делать и как в подобной ситуации удастся построить большие реакторы? На языке науки эта проблема формулируется так: теория подобия использует различные критерии подобия – геометрические, кинематические, механические, физические.

Если мы имеем модель моста или механизма, то сохраняя значения соответствующих критериев постоянными, мы можем быть уверены, что большой мост и большой механизм будут функционировать точно так же, как модели.

В химии все не так. Критерии подобия для химических процессов, учитывающие собственно химические реакции, перенос массы (диффузию, конвективный перенос), перенос тепла, гидродинамику потоков вещества, не совместимы. Это означает, что методами теории подобия строго рассчитать большой химический реактор невозможно.

У читателя уже готов вопрос: а как же при столь ненаучном подходе удастся строить большие и даже громадные реакторы?



Отвечаем: путем постепенного увеличения объема, шаг за шагом. Вспомним: в лаборатории объем реактора редко превышает 0,5 л. На опытной установке начинают с реактора объемом в несколько литров – 5 или 10, потом начинают работать с объемами 20–100 л. Объем реактора в несколько кубометров – это масштаб опытно-промышленной установки, которая совмещает эксперименты с выпуском промышленной продукции.

Соответственно объему растет и производительность реактора. Масштаб производства опытных установок – это сотни килограммов или несколько тонн материала в год. Опытно-промышленная установка производит обычно от нескольких сот до тысяч тонн в год.

Каждый раз при увеличении масштаба проектировщики тщательно изучают поведение большого реактора по сравнению с поведением модельного аппарата, фиксируют отклонения в его «характере», т. е. в производительности, устойчивости, реакции на изменение режимов работы. Очевидно, что такой ступенчатый подход сильно затягивает сроки разработки новых процессов. Теперь становится ясным также, почему проектанты столь осторожны в выборе решений – а вдруг теория подобия не сработает и большой реактор будет функционировать не так, как предполагали при его проектировании. Это приведет к ухудшению качества продукта, увеличению расходов.

### **Разговор технолога с проектантом**

Представим себе, что встречаются технолог-разработчик с опытной установки и проектант. Им предстоит обсудить вопросы, связанные с проектированием большого реактора.

Технолог: Ну, как ваше впечатление о нашей установке? Знаете, у нас тут много новых идей появилось. Эта схема явно не годится, но переделывать больше нельзя. Давайте в проекте все учтем и сделаем по-другому.

**Проектант:** Что вы, что вы, голубчик. Схема у вас действительно не очень получилась, но мы ни на йоту не отступим. Нам рисковать нельзя.

**Технолог:** Значит вы просто хотите в 10 раз увеличить объем реактора и все? Но ведь это неразумно. В лаборатории получены новые данные. Оказывается процесс можно вести в концентрированном растворе. Скорости можно увеличить, производительность поднять...

**Проектант:** Нет, нет и еще раз нет! Это все ужасно интересно, но поймите меня правильно, мы не имеем право на эксперименты. А вдруг не пойдет этот ваш непрерывный процесс в концентрированном виде. С кого спросят? Нет, лучше пусть помедленнее в разбавленном растворе. Дадим запас по объему реактора раза в два, по поверхности теплообмена раза в три. А вот потом интенсифицируйте, концентрируйте, голубчик, себе на здоровье.

**Технолог:** И получится, как в последний раз с полиэтиленом: проектировали на одну мощность, а оказалось чуть не в 1,5 раза больше.

**Проектант:** Так это же идеальный вариант! Все довольны: и начальство, и разработчики, и завод. Есть куда наращивать мощность, а полиэтилен нужен. Вот если бы получилось, что мощность в 1,5 раза меньше проектной, это была бы катастрофа.

**Технолог:** Но это же дополнительные расходы на реконструкцию, переделки всякие. Получается, что мы заведомо снижаем эффективность разработки, к.п.д., как у паровоза. При таких темпах мы и за 10 лет крупнотоннажного процесса не создадим.

**Проектант:** За 10 не создадим, конечно, но что же вы предлагаете? Идти на риск, увеличивать реактор сразу в 100 раз? Были такие опыты, ничего хорошего не получилось. Нет уж – тише едешь, дальше будешь.

Осторожность проектантов нередко приводит к тому, что новое производство бывает перегружено лишней аппаратурой, заложенной в проект «на всякий случай». Но если наш технолог будет предлагать максимально все упростить и удешевить, то он наверняка получит такой ответ: «Ну представьте что при пуске завода начнутся неполадки (уверю вас, что начнутся). Тут и дополнительная очистка потребуется и мало ли что. Вот лишняя аппаратура и понадобится. Пускай технологи упростят потом, года через 3–4. Выбросят все лишнее, поднимут производительность. Все будут довольны – поверьте моему опыту».

Итак, пока проектанты вынуждены опираться на методы подобия, точнее на метод максимального подобия. Если опытная установка работает устойчиво, то у проектантов появляется интуитивная уверенность, что увеличенный в 4–5 раз реактор «не подведет». При увеличении масштаба реактора в 10–15 раз даже при несложном технологическом процессе у проектантов преобладает настроение неуверенности.

Ну, а если из колбы да прямо в промышленный реактор? Невозможно, – дружно ответят технологи и проектанты. Что об этом думают некоторые ученые, мы узнаем в заключении, а пока вернемся в проектный институт. Как там идут дела после рассмотрения главной технологической схемы?

### **Кто работает в проектном институте**

После того как технологи проектного института начертили схему, просчитали объемы аппаратов, материальные и тепловые балансы для каждого аппарата, схема поступает к смежникам, т. е. к узким специалистам.

Механики по заданиям технологов должны рассчитать и подобрать по каталогам оборудование, выпускаемое машиностроительными заводами. Естественно, что это стандартное оборудование. Технологи хотели бы, чтобы все оно было изготовлено из благородного металла, на худой конец из молибде-

новой или «обычной» нержавеющей стали. Это гарантировало бы защиту аппаратуры от коррозии. Но металл дефицитен и дорог. Механики будут требовать обоснования для применения нержавеющей стали в каждом отдельном случае.

Читатель помнит, что выбор аппаратуры вызвал наибольшие затруднения на опытной установке. Казалось бы, что теперь в спокойной обстановке проектного института все трудности позади – здесь решительно все можно запроектировать, как надо. Но нет, на нестандартные – уникальные аппараты нужно составлять специальные задания на разработку, потом подыскивать организацию, способную эти аппараты сконструировать. Потом нужно найти заводы, способные их изготовить.

Как часто творческая фантазия технологов разбивается в прах при столкновении с трезво мыслящими конструкторами и механиками.

Служба электриков должна просчитать мощности и подобрать типы электромоторов и другой электроаппаратуры. Химические производства взрыво- и огнеопасны. Вся электрическая система оборудуется специальной защитой.

Как организовать автоматический контроль производства и управление им? Эти вопросы разрабатывает специальная служба КИП – контрольно-измерительной аппаратуры.

Тот, кто хотя бы в кинохронике видел большое химическое производство, обратил внимание на его безлюдность. А у тех, кому довелось такие производства посетить, нередко возникает смутное подозрение: что же делают рабочие и делают ли они что-нибудь?

Обычно они сидят в помещении, где расположены пульты автоматического управления, и наблюдают за показаниями приборов, изредка поворачивая какие-то ручки или рычаги.

Такая кажущаяся легкость (автор уверяет, что только кажущаяся) работы – следствие высокой степени автоматизации химических процессов. Вначале технологи должны на схеме наметить точки, в которых необходимо контролировать процесс,

и определить параметры, по которым нужно вести контроль. Измерять температуру и давление, расход паров и жидкостей химики научились давно. А вот анализировать качество полимеров непосредственно во время синтеза – труднейшая задача.

Еще несколько лет назад поступали просто – два-три раза за смену лаборантка отбирала пробу полимера из реактора через специальный пробник и относила в цеховую лабораторию. Для определения вязкости или текучести полимеров можно использовать сравнительно простую технику. Но и в этом случае на анализ уходит 20–30 мин. Для медленных процессов это запоздывание не очень существенно, а для быстрых? Получается, что анализ готов, а использовать его результаты практически невозможно – уже поздно.

На сверхсовременных полимерных производствах устанавливают и вычислительные машины, и сложнейшие приборы для анализа структуры полимеров, которых не найдешь даже во многих научных лабораториях.

Для регулирования температуры процесса приходится использовать набор хладоагентов и теплоносителей. Самые низкие температуры создают с помощью жидкого этилена, температуры до  $-40^{\circ}\text{C}$  – с помощью аммиачных холодильных установок и рассола, который циркулирует через аппаратуру и теплообменник холодильной установки. Температуры от 10 до  $100^{\circ}\text{C}$  поддерживают с помощью циркуляции воды. Самая холодная – артезианская. Если используется замкнутый цикл водооборота (а практически все производства находятся сейчас на таком цикле), то температуры воды зимой и летом будут различаться. Это сказывается на ее расходе, а иногда и на режимах процесса. Для нагревания выше  $100^{\circ}\text{C}$  применяют пар различного давления, а для поддержания температуры  $200^{\circ}\text{C}$  и выше – специальные жидкие теплоносители. Используют также электронагревательные элементы.

Пока все расчеты делались на основе технологической схемы. Следующий этап – компоновка оборудования, т.е. размещение его в производственных помещениях. Оборудование нужно разместить компактно, сократив до минимума протяженность трубо- и газопроводов. Нужно обеспечить свободное перетекание жидкостей из аппарата в аппарат. Нужно, чтобы каждый аппарат было легко обслуживать, к разным его частям должен быть свободный доступ.

Лучший способ компоновки – сделать объемный макет производства. Тогда расположение оборудования будет предельно наглядно и легко избежать различных ляпсусов. Макеты производств можно увидеть на различных выставках, где они пленяют воображение посетителей. Нередко настольный макет или объемную схему можно увидеть в кабинетах директоров заводов и НИИ.

Недостатком этих макетов является то, что их обычно создают после завершения строительства. А в проектировании макеты почему-то не получили большого распространения. То ли специалистов-макетчиков не хватает, то ли еще что-то. Это относится к химии. При проектировании гидроэлектростанций и многих других сооружений макеты совершенно необходимы.

А как же komponуют оборудование проектанты-химики? Неужели у них прекрасное объемное видение? Нет, конечно, – это не архитекторы и не скульпторы. Обычно они обходятся двухмерными моделями.

На большом листе бумаги рисуют разрез производственного помещения – горизонтальный и вертикальный. Аппараты вырезают из бумаги в двух проекциях (вид сбоку и сверху), конечно, в масштабе чертежа. Дальше их начинают размещать на чертеже в соответствии с технологической схемой, выдерживая (также в масштабе чертежа) высоты и расстояния между аппаратами. Занятие увлекательное и доставляющее явное эстетическое удовольствие.

Если речь идет о совершенно новом помещении, то вопросы компоновки оборудования решаются сравнительно просто. Нехватает четырех этажей – можно запроектировать пятый или шестой. Нужна отдельная пристройка для размещения отделения подготовки катализатора или холодильной установки, где требования к устройству помещения отличны от таковых к основному производству? Пожалуйста, можно запроектировать отдельную пристройку.

Но чаще всего свобода творчества у проектантов скована, а проще сказать – им негде размахнуться. Или площадь застройки ограничена, а по нормам техники безопасности химические производства должны располагаться на строго определенном расстоянии друг от друга и от других сооружений. Или нужно разместить новое производство в существующем помещении, в которое оно, естественно, не влезает. Вот, где от проектировщиков требуется виртуозность, находчивость и сообразительность.

Полимеризационные реакторы обычно располагают в помещении, чтобы температура вокруг них меньше колебалась. Но бывают и исключения. Например, реакторы для получения полиэтилена при высоком давлении располагают на открытом воздухе и отделяют от других производственных помещений железобетонными защитными стенами – на случай взрыва.

### **Где разместить завод?**

Новые химические производства располагают подальше от жилых массивов. Яркое впечатление оставляет, например, Новополоцкий химкомбинат. Уже из названия видно, что он расположен где-то в районе старинного города Полоцка в бассейне Западной Двины. При выборе места для будущего завода строители и проектировщики учли розу ветров для данного района, чтобы свести к минимуму возможность загрязнения атмосферы в жилых районах.

А если старинный завод размещен в центре городских кварталов? В химической промышленности таких заводом немного – сама отрасль молода. Вот Дорогомилровский завод в Москве. Он размещается на берегу Москвы-реки напротив Лужников и Новодевичьего монастыря. Здесь, конечно, не место для химических производств, и большую их часть вывели с завода, превратив его в предприятие по переработке пластмасс.

После того как компоновка оборудования завершена, в работу над проектом включаются строители. Они проектируют здания, металлоконструкции, фундаменты под оборудование. Специалисты по вентиляции просчитывают воздухообмен в помещении, мощность и расположение вентиляционных установок.

После того как поработали строители, за дело берутся экономисты. Все пересчитывается в рубли: стоимость сооружений, подготовка территории (подъездные пути, склады), стоимость аппаратуры, приборов, коммуникаций, затраты на освещение и вентиляцию, на сооружение дополнительной электроподстанции (производству нужна энергия), организация водооборота, очистных сооружений для химических стоков, зарплата обслуживающего персонала, стоимость сырья и материалов для производства полимеров.

Иногда, в результате всех этих расчетов проектанты приходят к горькому выводу, что место для будущего завода выбрано неудачно. Например, получается, что водопровод нужно тянуть на очень большое расстояние или большие затраты нужны на размещение очистительных сооружений. В этих случаях приходится для завода подбирать новое место.

#### **Последнее слово за экономистами**

Все эти расчеты суммируются в ТЭО – технико-экономическом обосновании на создание производства. При обсуждении ТЭО окончательно решается – каким быть новому производству.



Предварительные экономические расчеты проводили неоднократно с самого начала разработки. Еще когда исследователь впервые получил полимер в колбе, он сразу же прикидывал, насколько дефицитно сырье, каков выход продукта и какова может быть его себестоимость. Как мы помним, эти вопросы весьма волновали потребителей при опытных работах. Но окончательные цифры можно получить только в ТЭО, где все учтено. Каковы будут капитальные затраты на организацию производства, какова будет себестоимость?

Опыт показывает, что в обычных химических производствах основной вклад в себестоимость материалов дает сырье – 70–80%. Остальное – затраты энергии, зарплата обслуживающего персонала и отчисления от капитальных затрат, т.е. затрат на оборудование, здания и т.п.

В производствах полимеров ситуация оказалась иной. Вот, например, производство полистирола. Мономер сравнительно дорогой, но схема полимеризации предельно проста. Получается, что затраты на сырье составляют в себестоимости примерно 60%.

В производстве полиэтилена при высоком давлении оборудование сложное, затраты, казалось бы, велики. Мы уже говорили, что и выход полимера за один цикл полимеризации крайне низок. Но очень высока производительность и получается, что затраты на единицу выпускаемой продукции низки. Полиэтилен – наиболее дешевый из термопластов.

А вот для некоторых новых полимеров, например для полиформальдегида, оказалось, что затраты на сырье составляют всего 35–40% от себестоимости. Узнав про эти цифры, специалист скажет, что наверно очень сложна технология, большие затраты энергии, много потерь сырья, и будет прав.

Первый проект (точнее первое ТЭО) производства полиформальдегида проектанты делали осторожно – опытная установка функционировала не особенно устойчиво, уверенности было мало. В подобных случаях проект особенно сильно обрастает всякими дополнительными аппаратами и устройствами, запасным оборудованием и излишком рабочей силы. Когда эко-

номисты подсчитали, во что обойдется строительство цеха, руководители проектного института схватились за голову: 50 миллионов! Да за эти деньги можно в 20 раз больше полиэтилена сделать. Кому нужен полиформальдегид по такой цене?

Была проведена срочная ревизия проекта, и затраты были урезаны вдвое. Но и цифра «всего 25 миллионов» не вызвала энтузиазма у руководителей отрасли. Дополнительная работа над проектом привела в конце концов к приемлемой сумме капитальных затрат. Но осадок остался неприятный, и на много лет за полиформальдегидом укрепилась слава – очень дорогой полимер, очень сложная технология.

Конечно, было бы проще, если бы проектантам задавали максимально допустимое значение капитальных вложений. Человеческое мышление устроено таким образом, что заданные пределы его дисциплинируют. Так происходит, когда, например, разрабатывается проект реконструкции существующего полимерного производства.

Рассмотрение ТЭО – это фактически защита проекта. После того как ТЭО обсуждено и утверждено начальством с замечаниями или без оных, наступает очередь рабочего проекта.

Рабочий проект – это документ, согласно которому производство будут строить, монтировать, пускать и эксплуатировать долгие годы. В рабочих чертежах указано размещение каждого винтика, каждого крана. Параллельно с разработкой рабочего проекта заказывают оборудование. В технологической записке, входящей в рабочий проект, подробнейшим образом указаны все режимы, все расходы, все температуры, все рецептуры. Описаны все стадии, процессы, нормы расхода сырья, энергии, воды и пара.

Весь рабочий проект – это множество огромных томов с «простынями» технологических схем.

## **О безопасности для производственников и для живой природы**

В детстве автор купался в реке Клязьме, и местные жители предупреждали: ни в коем случае не глотайте воду – плохо будет.

– Да почему же? Что она отравлена что ли?

– Химия.

Слово это в быту приобрело мрачноватый оттенок. Загубленные реки, лишённые всего живого, – химия. Увядшая растительность, засохшие деревья – химия. Неприятный запах, щипит глаза – химия.

Будем справедливы – угрозу живой природе, окружающей среде создает не только химия. Будем самокритичны – роль химии в ухудшении условий обитания человечества и всей живой природы достаточно велика.

Не будем класть на весы пользу и вред, приносимые химией. Развитие прогресса неумолимо. А вот с сопутствующими вредными явлениями нужно бороться.

Предупреждают ли студентов химических вузов и техникумов о вредности предстоящей работы? Все ли знают, что химики трудятся большей частью во вредных, а иногда и в особо вредных условиях?

– Подумаешь, вредности, – может сказать кое-кто из читателей, – где их нет? А химикам и молоко дают каждый день бесплатно, и рабочий день у них на час, а то и на два короче, и медосмотры регулярные, и на пенсию уходят молодыми – мужчины в 50, а женщины в 45 лет.

Все правильно и про сокращенный рабочий день, и про молоко, и про пенсию. Где уходят на пенсию раньше? В цирке, авиации, балете? Но там физические возможности человека с возрастом перестают соответствовать специфике трудовой деятельности. Меняй профессию и работай дальше.

Молоко, бесплатное дополнительное питание, сокращенный рабочий день далеко не всегда компенсируют полностью тот

вред, который химия наносит организму.

Почему же в химии часто бывает работать вредно? Это что – неразрешимая проблема или следствие неорганизованности, дурной привычки, небрежности?

### **Вредно ли работать в химической лаборатории?**

Вернемся назад в научную лабораторию. Обычно в ней ничем особенным не пахнет. Химики и лаборанты в белых халатах (иногда в синих или черных). Эксперименты с пахнущими и вообще с летучими веществами проводят в вытяжных шкафах. Вентиляция в комнатах и коридорах создает такое разрежение, что открыть дверь на улицу иногда удается с трудом, а захлопывается она с грохотом.

О свойствах веществ, с которыми приходится постоянно иметь дело, написаны специальные инструкции по технике безопасности. И все же работа с разнообразными, в том числе новыми веществами сопряжена с риском. Некоторое количество паров летучего вещества может попасть в воздух помещения – всего не предусмотреть. Поэтому работникам химических лабораторий тоже положены сокращенный рабочий день и молоко.

Особенно неприятны такие вещества, которые способны вызвать аллергию у предрасположенных к ней людей. Круг таких соединений весьма широк, а действуют они в ничтожных концентрациях.

На опытных установках положение химиков особенно сложно: много ручных операций, многократная разборка аппаратуры, загрузка реагентов. Это работа для молодых и физически здоровых людей (плохо только, что именно в молодости люди часто браврируют здоровьем, презрительно относятся к профилактике, пренебрегают мерами безопасности).

Но если на опытной установке повышенные вредности практически неизбежны, то на промышленном производстве все необходимые меры безопасности и предосторожности можно предусмотреть в проекте, не так ли? Для того ведь и существует автоматизация, механизация, герметизация.

Существуют и специальные инженерные сооружения, призванные разрешить самую тяжелую проблему современной промышленной химии – исключить вредные выбросы в атмосферу и загрязнение сточных вод.

Побеседуем с инженером по технике безопасности химического завода.

### **Почему на химических заводах такой неприятный запах?**

– Скажите, почему в некоторых цехах такой сильный «химический» запах? Это связано с несовершенством технологии?

– Не всегда. В цехах тщательно контролируется содержание вредных и взрывоопасных паров и газов в воздухе. Допустимое содержание этих веществ лимитируется законом. Но некоторые из них обладают настолько сильным запахом, что он чувствуется и при концентрациях, значительно меньших, чем это допускается нормами. Таков формальдегид. Щипать глаза и жечь в гортани он начинает при ничтожных концентрациях в воздухе. С ними практически невозможно бороться: какое-то количество формалина попадает на землю при загрузке цистерн, при пропарке аппаратов, из воздушшек, соединяющих хранилища с атмосферой.

Вообще, чем опаснее мономер, тем строже меры по безопасности при работе с ним. Вот поликарбонат получают из боевого отравляющего вещества эпохи первой мировой войны – фосгена. Его в атмосферу не выбросишь. Или оксид этилена, ацетилен – это очень взрывоопасные мономеры.

Труднее убедить в осторожности при работе со стиролом. Запах у него довольно приятный, но действует он коварно. К запаху привыкаешь, а неприятные последствия наступают позднее.

– Скажите, раз с фосгеном и некоторыми другими особо опасными мономерами удастся справиться так, что они в атмосферу не попадают, значит в принципе это возможно во всех случаях?

– В принципе – да, но специальные меры по герметизации значительно удорожают производство. Кроме того, нелегко преодолеть консерватизм проектировщиков и производственников, стереотип мышления.

### **Как очистить воду?**

Вторая проблема – сточные воды, стоки. Любое полимерное производство расходует огромные количества воды. Вода, циркулирующая в рубашках аппаратов и теплообменников, конденсат пара не загрязняются и могут использоваться в замкнутом цикле. Потери будут связаны с испарением, утечками.

Промывные воды – это вода, остающаяся после промывки полимера. Она загрязнена различными минеральными и органическими веществами. Загрязнены также конденсаты – водные растворы низкой концентрации, получаемые в операциях очистки, кристаллизации, ректификации, перегонки химических реагентов. Добавим сюда кубовые остатки – концентраты после испарения органических веществ и растворов, и список будет полный.

Над проблемой утилизации сточных вод химики бьются многие годы. Выделять химические вещества из слабых растворов экономически крайне невыгодно – требуются огромные затраты энергии. Действие большинства современных очистных сооружений основано на чисто механических, а также химических и биологических процессах.

Еще несколько лет назад отходы, загрязненные органическими веществами, на заводах сжигали в котельных, добавляя к топливу. Теперь стало ясно, что это – не лучший путь утилизации. Сжигается ценное органическое сырье, атмосфера загрязняется углекислым газом.

Долгое время процессы эмульсионной и суспензионной полимеризации технологи считали удобными и простыми. В этих процессах в реактор загружают воду, в ней растворяют или

распределяют в виде капель жидкие мономеры. Полимер образуется в виде суспензии – смеси порошка с водой. Вода позволяет тонко регулировать процесс полимеризации. Но в этих процессах образуются большие количества загрязненных сточных вод. Сейчас там, где это возможно, эмульсионную и суспензионную полимеризацию заменяют жидкофазной.

Идеальный вариант – безотходное производство, отказ от использования органических растворителей, промывок, сточных вод. Возможно ли это?

Долгие годы основным методом покрытия лаком различных поверхностей – металлов, дерева – было нанесение лака в виде раствора в органическом растворителе. Это приводило к сильному загрязнению атмосферы, а время от времени к пожарам в различных производствах.

Принципиально иным оказался метод, основанный на использовании олигомеров. Композиция на основе олигомеров не содержит растворителей – она сама по себе жидкая. Лаковая пленка образуется при полимеризации олигомеров на поверхности под действием ультрафиолетового или радиационного излучения. Новая технология имеет огромные преимущества как с точки зрения охраны внешней среды, так и по производительности.

Применение в полимерной технологии процессов, основанных на использовании олигомеров, расплавов мономеров, процессов в газовой фазе, создание высокоактивных катализаторов, использование радиационного инициирования – вот что позволит резко уменьшить или совсем исключить сточные воды в производстве.

Чем громче звучит голос общественности в защиту окружающей среды, тем внимательнее вынуждены к нему прислушиваться руководители химической индустрии. Буквально несколько лет назад они досадливо отмахивались от этих проблем. Из газетных фельетонов, журналов, кинокомедий вырастает фигура этакого бездушного директора химзавода, который во имя выполнения плана любой ценой губит отходами реки, озера, леса и поля.

Но климат на химических предприятиях, в НИИ и проектных институтах стал постепенно меняться. Если заставить (именно заставить) химиков думать не только о результатах опыта в колбе, но и о последствиях этих опытов, если повысить требовательность к разработчикам и технологам, если курс защиты окружающей среды ввести в химических вузах, то химия станет «чистой».

## **Завод вступает в строй**

Рабочий проект закончен. Теперь можно приступать к строительству и монтажу оборудования. Если все работы спланированы правильно и заказанное оборудование поступает на стройплощадку в предусмотренные проектом сроки, то строительство пойдет достаточно гладко. Но если в сложном хозяйстве строителей что-то разладится, тогда сроки строительства сразу растянутся, и сиротливо будут стоять под снегом ящики с импортным и отечественным оборудованием.

Кстати, почему это оборудование так часто ржавеет на стройплощадках, а сроки строительства затягиваются? Почему об этом нередко пишут в газетах? Как это получается?

Часто это связано с ошибками при проектировании. Когда речь идет о разработке нового процесса, бывает, что уже в ходе проектирования или даже строительства исследователи и технологи находят новые эффективные решения. Тогда они стремятся внести изменения в проект, и всю стройную систему проектирования потрясают катаклизмы. Недаром опытные проектанты любят повторять, что «лучшее – враг хорошего».

Все остальные задержки обычно связаны с различными организационными причинами в стане строителей, несогласованностью в действиях некоторых поставщиков оборудования. Но эти вопросы мы касаться не будем.

Будем считать, что нам повезет. Строительство нового производства находится под неослабным вниманием местных вла-



стей, проектировщики, время от времени наведывающиеся на стройку, приезжают с радостными лицами. Строго по плану строительные и монтажные работы закончены. Строители и монтажники ушли на другой объект. Цех сверкает чистотой и белизной. Трубопроводы выкрашены в различные цвета, пахнет свежей краской.

Будущие работники цеха уже собрались. Инженеры изучили проект, технологическую схему, регламент производства – основной документ, в котором скрупулезно описана последовательность всех операций, все температуры, давления, концентрации, количества компонентов и т. п.

Заметим, кстати, что регламент – это отнюдь не научный отчет. Это инструкция: делай так, а не по-другому. Никаких объяснений, никаких советов типа «что делать, если получится не так».

Будущие операторы, лаборанты цеховой лаборатории, дежурные слесари и киповцы – все изучают рабочие инструкции, знакомятся с оборудованием. Все проходят и сдают инструктаж по технике безопасности.

Персонал, обслуживающий современное полимерное производство, невелик: обычно 10–20 человек в смену. Отлаженное производство действует круглосуточно, поэтому обслуживают его 3 восьмичасовых или 4 шестичасовых смены. В каждой смене есть начальник смены, старшие и просто аппаратчики, дежурные слесари, киповцы, лаборанты, иногда электрики. Есть начальник цеха, технолог, механик, начальник цеховой лаборатории. В крупных цехах – еще начальники отделений, экономист. Но это все так, когда производство отлажено. А сначала нужно его «запустить и вывести на режим». Для этого в дело вводят подкрепление. Создается пуско-наладочная бригада. И вот снова вместе собираются разработчики, технологи опытных установок, конструкторы оборудования, автоматчики и проектанты.

В кинохронике любят показывать пуск новой турбины, открытие движения по новому мосту или железнодорожной магистрали. Волнующая картина. Почетный гость разрезает лен-

точку (а при спуске корабля на воду по традиции разбивает бутылку шампанского), поворачивает рукоятку или нажимает кнопку. Гремит оркестр, ликующие возгласы смешиваются с ровным гулом турбины, шумом падающей воды или стуком колес ...

При пуске химического производства репортеров обычно не бывает. Процесс это длительный, растянутый на месяцы. Сначала нужно «обкатать» оборудование, убедиться, что все вращающиеся детали действительно вращаются, проверить герметичность, работу приборов и автоматики. Потом сушилки, смесители, экструдеры и другое оборудование, расположенное на «хвосте» процесса, нужно отладить на готовом полимере, привезенном с опытного производства. Все это напоминает пуск опытной установки, но масштабы другие. Пишется специальный пусковой регламент.

Отдельные стадии процесса отлаживают поочередно, по специальному графику. Выясняют неполадки, составляют акты, создатели аппаратуры «доводят» ее на ходу.

На этой стадии работ особенно опасны аварии, капризы «неприрученного» агрегата. Что делать, если забьются трубопроводы? А если разрыв магистрали и выделение газа? А если реакция выйдет из-под контроля, как избежать выброса реакционной смеси? В специальном пусковом регламенте все должно быть продумано в деталях, особенно аварийные ситуации и действия персонала.

Вот где проверяется качество разработки процесса, качество проектирования! Все огрехи, все недоделки заявляют о себе во весь голос.

Про особенности полимеризации этилена при высоком давлении мы говорили уже не раз. Процесс это настолько быстрый, что при отклонении режима полимеризации от расчетного сделать практически ничего нельзя – происходит разложение этилена и взрыв. Никакая автоматика не спасает. Приходится реактор располагать отдельно за железобетонными стенами и оборудовать его предохранительным клапаном.

При полимеризации стирола, винилхлорида, диенов и многих других мономеров скорости намного ниже, но в глубине больших реакторов таятся другие опасности. Вышел температурный режим полимеризации из-под контроля – реакционная масса стала неумолимо разогреваться. Чем выше ее температура, тем больше скорость реакции, а следовательно, тем больше выделяется тепла. Подобные процессы называются автоускоренными. Они грозят различными бедами: тут и выброс реакционной массы из полимеризатора, и повреждение аппаратуры, и самое неприятное – «козел».

### **Как «сварить козла»**

Автору не удалось выяснить происхождение этого термина, но «сварить козла» довелось в самом начале его инженерной деятельности. Произошло это так. В опытном цехе осваивали технологию получения нового сополимера стирола с акрилонитрилом. Материал называется САН, он твердый, прозрачный и более теплостойкий, чем обычный полистирол.

Получают САН методом суспензионной полимеризации. Мономеры сначала смешивают с водой, в которой они не растворимы и образуют капельки эмульсии. Затем вводят инициатор, растворимый в мономере и не растворимый в воде. Эмульсию перемешивают мешалкой, чтобы капельки не слипались. Для этой же цели в реактор добавляют специальный стабилизатор. Реактор нагревают, чтобы реакция началась, а затем охлаждают, чтобы отвести избыток тепла, выделяющийся при полимеризации.

Метод суспензионной полимеризации замечателен тем, что каждая капля представляет собой как бы изолированный микрореактор. Вода играет роль теплоносителя или хладагента – смотря по обстоятельствам. Капли-микрореакторы имеют большую поверхность теплообмена, процесс полимеризации в них лучше контролируется, чем при полимеризации в массе мономера.

В конце процесса в воде плавают частицы полимера в виде бисера. Их отделяют от воды, сушат, и полимер готов. Кажется бы, технология предельно проста. Синтез ведется периодически в больших автоклавах с мешалками. Реагенты загружаются по массе без всяких опасений по поводу содержания в них влаги—инициаторы радикального типа, применяемые в этом процессе, влаги не боятся.

Но есть одна деталь в этом простом процессе, из-за которой технологи его побаиваются. Дело в том, что эмульсии не стабильны. Смешайте масло с водой—при интенсивном перемешивании получится капельная эмульсия. Но стоит перемешивание прекратить или даже замедлить, как капельки немедленно сольются. То же самое происходит и с полимерной эмульсией. Но есть существенная разница: если эмульсию масла снова перемешать, то она восстановится, а вот полимерная эмульсия—нет. В середине процесса полимеризации капли имеют очень вязкую консистенцию—ведь это концентрированный раствор полимера в мономере. Если они слипнутся, то никаким перемешиванием их уже не разлепишь. Для того чтобы избежать слипания, нужно тщательно контролировать температурный режим процесса.

Теперь представьте себе вертикальный цилиндрический аппарат с выпуклым дном объемом в 3 м<sup>3</sup>. Это—реактор. В него загружают жидкий стирол, акрилонитрил, воду, различные добавки—все в строго определенных количествах. На языке технологов это называется рецептура загрузки. Включается электродвигатель, приводящий во вращение мешалку аппарата. Далее нужно поворотом вентиля подать в рубашку аппарата пар, разогреть его содержимое до строго определенной температуры, при которой полимеризация начнется с определенной скоростью и «вести» процесс. Исследователи рекомендовали специальный режим изменения температуры реакционной массы по ходу процесса. Режим этот отработан в лаборатории, он обеспечивает протекание процесса с заданной скоростью и получение сополимера с заданными свойствами.

Читатель, хорошо знакомый с современной техникой, в этом месте может воскликнуть: отлично, нужно было поставить автоматический регулятор температуры, соединенный с термопарой внутри реактора и с вентилями пара и холодной воды. Регулятор сам будет поддерживать заданный режим.

К сожалению, обычные регуляторы часто не в состоянии регулировать сложные температурные режимы с заданной точностью. На опытной установке чаще всего в начале приходится отрабатывать режимы вручную.

Несколько операций синтеза прошли спокойно. Но вот то ли внимание ослабло, то ли квалификация аппаратчика подвела, но температуру в реакторе «упустили». Она по показанию прибора неудержимо полезла вверх. Электродвигатель мешалки натуженно заревел. Все засуетились вокруг аппарата.

– Воду! Холодную воду на полную мощность! – В рубашку реактора хлынула холодная вода. Но поздно, затормозить реакцию не удастся. Скорость химической реакции очень сильно зависит от температуры – по экспоненциальному закону. Это означает, что если температуру повысить на  $10^{\circ}\text{C}$ , то скорость полимеризации возрастет примерно вдвое. Во столько же возрастет скорость выделения тепла. Нигде это столь наглядно не ощутимо, как в больших реакторах. При этом, что происходит внутри, – не видно, можно только догадываться.

– Ну, теперь, инженер, держись: быть «козлу», – это говорит опытный аппаратчик, выдавший не один «козел».

– Неужели ничего нельзя сделать? Прибавьте обороты мешалки, возьмите пробу из реактора через пробоотборник. Что – слипаются? Может воды добавить прямо внутрь аппарата? Или стабилизатор какой-нибудь, – это мысли уже от отчаяния.

Рев мотора внезапно обрывается.

– Оторвало мешалку, – хладнокровно комментирует слесарь, сейчас полезет, голубчик.

Неконтролируемый процесс при повышенных температурах приводит к образованию сплошной, спекшейся, твердой

и хрупкой массы, заполняющей весь реактор, вспучивающейся и даже вылезавшей наружу.

Есть от чего придти в отчаяние: «козел» – это брак, материал никуда не годится, а выгружать его из реактора – мучительный ручной труд. Приходится разбирать аппарат, снимать верхнюю крышку и вырубать «козла» отбойными молотками. С реактором объемом 3 м<sup>3</sup> приходится мучиться двое – трое суток. А если реактор на 20-30 м<sup>3</sup>? А если на 200? Тут уже без взрывных работ не обойтись.

«Козлы» особенно опасны при проведении полимеризации периодическим способом. Но их образование возможно и при непрерывных режимах синтеза из-за нарушений температурного режима процесса, выхода из строя автоматики и по другим причинам.

В хорошо отлаженном процессе с тонким автоматическим управлением подобные срывы – большая редкость. А вот в опытном производстве с неуправляемым разогревом реактора при полимеризации сталкиваться приходится довольно часто.

Что же делать со «сваренным козлом»? Разные идеи предлагались по поводу применения оставшегося после очистки реакторов материала. Например, один из работников завода, наделенный художественным чутьем, вырубал из цветного полистирольного «козла» скульптуры в стиле модерн, эффектно преломлявшие лучи света. Всем, кому довелось их видеть, и в голову не приходило их происхождение. К сожалению, руководство не поддержало столь ценное начинание и до сих пор, насколько известно автору, скульптуры и друзья из полистирольных «козлов» в продажу не поступают.

### **Агрегат пущен**

Запуск большого промышленного агрегата синтеза, включающего десятки аппаратов, сотни вентилях и задвижек, насосов и двигателей, растягивается на месяцы. Сначала аппарату-

ру промывают водой, поскольку после монтажа аппараты и трубопроводы могут быть забиты грязью, песком, обрывками изоляции и другими не предусмотренными регламентом предметами.

После того как аппаратура промыта и загерметизирована, проверяют работу датчиков – чувствительных устройств, встроенных в аппараты и трубопроводы, позволяющих замерить температуру, давление, расход реагентов, уровни жидкости. Важный момент – калибровка многочисленных измерительных устройств с помощью дублирующих приборов.

Затем проверяется надежность работы регулирующих устройств, автоматических систем управления. И только после того, как все элементы технологической схемы отлажены на воде, можно начинать работы с химическими реагентами. Для вывода большого химического агрегата на проектную мощность обычно требуется от нескольких месяцев до года и даже двух. Когда режим работы отлажен, подписывается акт о приемке агрегата и начинается плановый выпуск продукции.

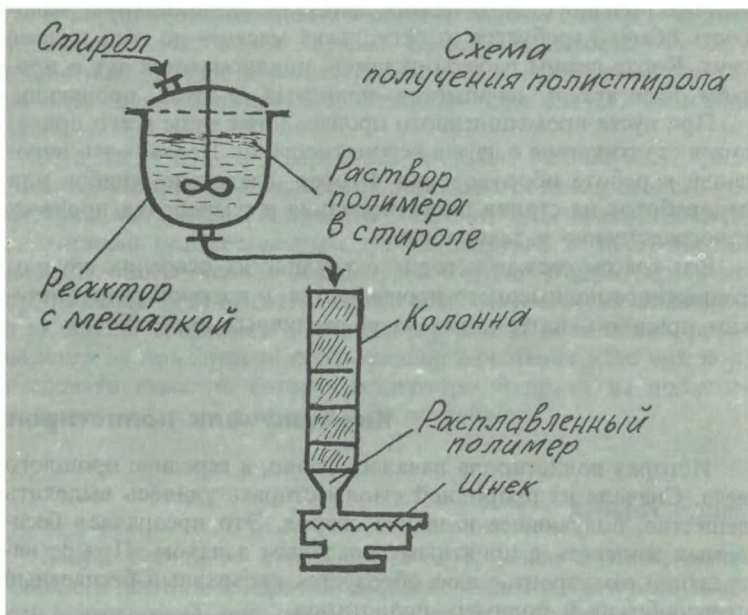
При пуске промышленного производства чаще всего приходится сталкиваться с двумя неприятностями. Первая – это неполадки в работе оборудования. Вторая – следствие ошибок или недоработок на стадии проектирования и разработки процесса непосредственно в технологии.

Вот совсем свежая история о трудностях освоения крупнотоннажного полимерного производства, в которой разработчикам пришлось натерпеться из-за различных недоработок.

## **Как получали полистирол**

История полистирола началась давно, в середине прошлого века. Сначала из природной смолы стиракс удалось выделить вещество, получившее название стирол. Это прозрачная бесцветная жидкость с приятным цветочным запахом. При ее нагревании самопроизвольно образуется прозрачный бесцветный стеклообразный полимер – полистирол.

Промышленные способы его получения первым разрабатывал Остромысленский, работавший в Германии в начале нашего века. Там же в 1920 г. было запущено первое промышленное производство полистирола. Стирол получали из каменного угля через бензол. Очищенный стирол загружали в реактор с мешалкой и нагревали до 80-90°C. Начинаясь полимеризация, вязкость раствора увеличивалась. Когда концентрация полимера достигала 30-40%, вязкий сироп самотеком направляли в башню (колонну). Она сверху донизу заполнялась раствором полистирола, который медленно стекал вниз под действием собственной тяжести. Одновременно продолжалась полимеризация, так что внизу из башни вытекал расплавленный полистирол.





Сначала стирол приходится нагревать, чтобы началась полимеризация. Затем массу охлаждают, чтобы отвести тепло реакции. Нижнюю часть башни нужно нагревать до 200-220°C, чтобы обеспечить текучесть жидкого полистирола.

Процесс называют блочным, или башенным, или полимеризацией в массе. Технология его мало изменилась за 60 лет и не удивительно – очень уж она проста. Продукт получается исключительно чистым – никаких примесей, если, конечно, аппарата не корродирует, фильтры прочищены и приняты другие специальные меры. Полистирол используют там, где нужна максимальная чистота материала – при производстве пленки и нитей для электротехники.

Есть у этого процесса и недостатки – малая производительность, например. Скорость полимеризации снижается пропорционально уменьшению концентрации мономера. В конце процесса, когда в полимере остается 3–5% стирола, скорость полимеризации ничтожна. Для того чтобы исчерпать эти следы, нужно выдерживать реакционную массу в аппаратуре многие часы.

Из-за большого перепада температур при синтезе блочный полистирол очень неоднороден по размерам макромолекул. Это приводит к ухудшению механических свойств. Еще один недостаток башенного процесса – малая динамичность режима полимеризации. Для изменения режима нужно несколько суток – пока реакционная аппаратура опорожнится.

Технологи создали и другие процессы получения полистирола – в суспензии и эмульсии, которыми легче управлять. Но башенный способ в музей не сдали. Во-первых, он максимально прост, во-вторых, никаких загрязненных стоков, а в-третьих, очень уж чистый продукт получается.

Прошло много лет, прежде чем технологи додумались, как увеличить производительность башенного процесса. Они применили прием, известный со студенческой скамьи любому химику, – оборвать реакцию полимеризации при выходе продукта 80–90%, отделить непрореагировавший мономер и вернуть его в цикл, т. е. в первый аппарат.

Не будем спешить обвинять технологов в косности и забывании прописных истин. Отделить мономер от высоковязкого расплавленного полимера совсем непросто: нужно было разработать специальную аппаратуру, работающую при глубоком вакууме.

До конца второй мировой войны полистирол производили главным образом в Германии. Но во время войны положение с сырьем кардинально изменилось. Стирол оказался одним из компонентов для получения стратегически важного эластомера – бутадиен-стирольного синтетического каучука. Потребности в этом материале для производства шин были огромны в связи с захватом Японией основных источников поставки натурального каучука.

В США было разработано и налажено крупное производство стирола из нефти, на мировом рынке цены на этот мономер упали. В результате в послевоенные годы производство полистирола стало быстро развиваться во многих странах, в том числе и у нас.

### **Семья полистирольных пластиков**

Полистирол – твердый, прозрачный, легко окрашиваемый и легко формующийся материал – нашел широкое применение при изготовлении ширпотреба. Детские игрушки, ручки, линейки, угольники, подставки, тарелочки «под хрусталь», коробки, банки, расчески, заколки, футляры, ручки, абажуры для ламп, шкалы приборов, печатные шрифты, электроизоляционная пленка, декоративные плитки и панели – все это производилось из полистирола.

При всех преимуществах у блочного полистирола оказалось два солидных недостатка: хрупок, как стекло, и размягчается уже при 70°C, отнюдь не как стекло. Автор вспоминает, как в его студенческие годы соседка по коммунальной квартире подняла скандал на кухне по поводу таинственного исчезновения чудесных «хрустальных» розеток для варенья, только что

приобретенных, непосредственно из миски с водой, где они кипятились. Автор, проявив выдержку и истинно научный интерес, осторожно слил воду из миски и продемонстрировал изумленным соседкам на дне миски прозрачные «стеклянные» шарики – все, что осталось от чудесных розеток. Они явно были изготовлены из полистирола и при чрезмерном нагревании расплавились.

Этот и подобные случаи привели к разочарованию потребителей, темпы развития производства полистирола замедлились. Но в середине 50-х годов было сделано два крупных технических открытия, вдохнувших новую жизнь в историю полистирола.

Сначала был изобретен пенополистирол – пенопласт, удивительно легкий, жесткий теплоизоляционный и упаковочный материал, нашедший чрезвычайно широкое применение в технике. Из наиболее оригинальных областей применения отметим две: подъем затонувших кораблей и строительство куполообразных зданий из блоков пенополистирола. В последнем случае блоки сваривают друг с другом, и всего двое рабочих с помощью крана за несколько дней могут собрать здание огромных размеров, построенное по принципу эскимосского иглу.

Второе изобретение – ударопрочный полистирол. Собственно о нем и пойдет речь в этом рассказе. Первая идея, к которой технологи пришли сравнительно давно, заключалась в том, что к полистиролу нужно добавить эластичный компонент, например каучук, поскольку полистирол хрупок. Смесь, точнее сплав полистирола и каучука под названием компаунд, применяется в технике уже много лет. Но этот материал полностью технологов не удовлетворил: выигрыш в ударной прочности невелик, каучука нужно вводить много, материал быстро стареет и теряет прочность.

Позднее было показано, что если полистирольные макромолекулы привить (присоединить) к каучуковым, то ударная прочность материала значительно возрастает при том же количестве каучука. Для получения привитого сополимера готовый полистирол смешивали с каучуком в расплаве на вальцах или

в экструдере, добавляя инициатор. Процесс смешения высоко-вязких полимеров требует больших затрат энергии, поэтому он не получил большого распространения.

Наконец, был предложен вариант процесса, при котором каучук предварительно растворяли в стироле, а затем полимеризовали последний. В этом случае, конечно, достигалось идеальное распределение каучуковых частиц в массе полистирола, а кроме того, при определенных условиях получался привитой сополимер полистирола и каучука.

Этот способ упрочнения оказался самым эффективным: во-первых, он самый дешевый, во-вторых, получался наибольший выигрыш в ударной прочности материала по сравнению с другими методами при равном содержании каучука. (Под другими методами подразумеваются различные способы механического смешения компонентов.)

Новый материал содержал всего 5–10% каучука, но его ударная прочность была в 10–20 раз выше, чем у обычного полистирола. Изменились и некоторые другие свойства, например исчезла прозрачность, поскольку частицы каучука, диспергированные в массе полистирола, имели другой коэффициент преломления. В результате естественный цвет материала оказался молочно-белым.

Понижилась прочность при растяжении – примерно в два раза – из-за добавки эластомера, но зато материал приобрел значительную эластичность, относительное удлинение при разрыве достигло 30–40%.

Но многие свойства полистирола у материала сохранились: химическая стойкость, твердость, легкость окрашивания и формования. В общем сочетание свойств у нового материала оказалось на редкость удачным. Путем изменения концентрации каучука и средней молекулярной массы полистирола оказалось возможным варьировать свойства материала в широком интервале, добиваясь то большей эластичности, то большей жесткости.

Новый материал нашел очень широкое применение в технике и для изготовления товаров широкого потребления. Особо

отметим корпуса телевизоров и радиоприемников, детали холодильников и многое другое. Потребность в этом материале стала стремительно расти, а его производство увеличиваться.

### **Ударопрочный полистирол в Ленинграде и в Кусково**

Перед технологами встала задача выбрать из различных вариантов проведения процесса наилучший, т. е. обеспечивающий высокое качество материала при наименьших затратах. В соревнование за создание наиболее эффективного процесса в нашей стране включились две организации: Ленинградский НИИ полимеризационных пластмасс (НИИПП) и Кусковский химический завод в Москве.

То, что за создание нового процесса взялся специальный научно-исследовательский институт, понятно: кому же еще и браться? Но при чем здесь завод?

Дело в том, что Кусковский завод особенный. Во-первых, ему 100 лет. Он был построен для получения керосина, а затем переделан в химический завод. Здесь выпускались полупродукты для производства пластмасс, здесь работали великие химики Менделеев и Зелинский. Во-вторых, здесь было пущено первое в стране производство блочного полистирола, тот самый исторический башенный метод. Здесь же осваивали первые производства суспензионного, эмульсионного и пенополистирола, проводили опыты по получению сополимеров стирола. В общем этот завод – небольшой по современным меркам – был (и до настоящего времени остается) экспериментальной базой развития полистирольных пластиков.

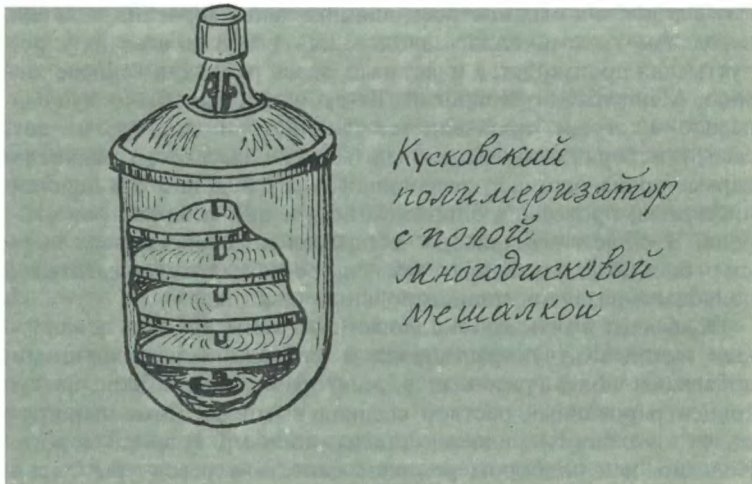
Кусковцы в основу технологии положили все тот же блочный метод. Каучук растворяли в стироле и с различными добавками полимеризовали в реакторах с мешалками. Затем концентрированный раствор специальными насосами перегружался в колонну и медленно стекал, полимеризуясь по дороге. Конечно, над подбором режимов синтеза и рецептуры сырья

пришлось попотеть, но после напряженных опытов на пилотной и опытно-промышленных установках удалось освоить получение материала приличного качества.

Материал этот содержал довольно большое количество остаточного стирола – около 1% и поэтому не мог использоваться для контакта с пищевыми продуктами. Но потребность и в непищевом сополимере была исключительно велика. Простота технологии, возможность ведения процесса непрерывным способом – все это подкупало. На конкурсе проектов крупного производства кусковцы завоевали первое место.

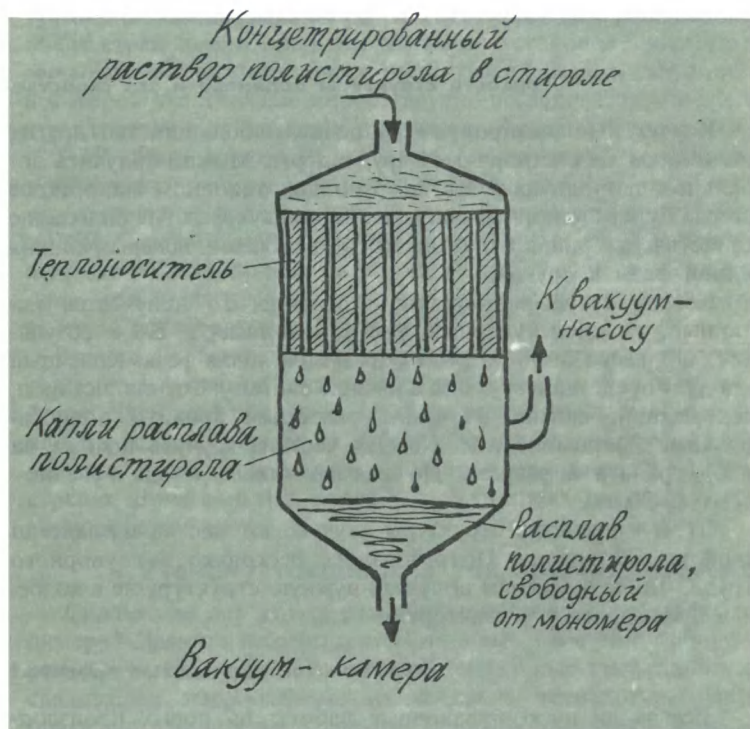
Как избавиться от остаточного стирола и повысить производительность установок синтеза? Как улучшить качество продукта, получить все необходимые для народного хозяйства сорта?

Было предложено множество идей. Например, для удаления остаточного мономера из продукта можно использовать вакуум-экструдер. Это шнек-машина, оборудованная вакуум-от-



сосом. Такая машина была испытана на Кусковском заводе. Содержание остаточного стирола в продукте удалось снизить втрое.

Ленинградцы предложили более простую конструкцию для удаления мономера так называемую вакуум-камеру. Схематически она изображена на рисунке. Расплавленный полимер, содержащий стирол, специальным насосом нагнетается под давлением в трубчатку, где нагревается теплоносителем. Затем расплав попадает в расширенную камеру, в которой создается



вакуум. Капли полимера разрываются из-за перепада давления, и мономер испаряется. Очищенный расплав скапливается на дне и выгружается шнеком. Подобный эффект в технике называют дроссельным.

Этот аппарат потребляет меньше энергии, чем экструдер, и может быть сделан очень большим. Проверка предложенных конструкций проходила на той же опытно-промышленной установке Кусковского завода. После реконструкции башню-колонну отправили на переплавку (как не пожалеть об отсутствии у нас Музея технологии). Ее заменила схема из двух реакторов, работавших под вакуумом, и вакуум-камеры.

### **Тонкости структуры полимера и его свойства**

Каучук и полистирол, как впрочем и большинство других полимеров, не растворяются друг в друге. Можно получить довольно однородную смесь, но в поляризационном микроскопе всегда будет видно, что она состоит из двух фаз. Механические свойства материала будут зависеть от степени диспергирования одной фазы в другой.

Когда каучук растворяют в стироле, то получается истинный, т.е. молекулярный, раствор полимера. Но в результате полимеризации стирола образуется новая фаза. Конечный продукт представляет собой сложную систему. Это полистирол, содержащий частицы каучука, к которым привиты полистирольные макромолекулы. Каждая частица каучука похожа на плод граната в разрезе. Но размер такого плода невелик – всего 2–5 мкм.

От совершенства структуры каучуковых частиц и зависели свойства материала. Потребовалось несколько лет упорного труда, чтобы научиться получать нужную структуру не в колбе, а в промышленном реакторе.

### **Возможны ли образцовые проекты?**

Всегда ли пуско-наладочные работы на новых производствах проходят так мучительно трудно, как в рассказанной выше истории? Нужно честно признать, что пока в большинстве



случаев – да. Даже планирующие организации определяют двух-летний срок для выведения крупнотоннажных установок на проектную мощность.

Но равняться нужно по образцам, а в полимерной индустрии такие образцы есть. Несколько лет назад вступил в строй агрегат по синтезу полиэтилена под высоким давлением на Новополоцком химкомбинате. В то время это была самая крупная в стране установка полимерной индустрии, ее мощность – 50 тыс. т/год.

Название установки – «Полимир-50». Над ней совместно трудились коллективы СССР и ГДР. До этого специалисты обеих стран имели опыт эксплуатации установок значительно меньшей мощности, не более 10–12 тыс. т/год. Вся разработка, в которой участвовали многие научно-исследовательские, конструкторские организации и заводы, Академии наук СССР и ГДР, была проведена на высоком научном, техническом и организационном уровне; очень тщательно были отработаны все параметры процесса на опытно-промышленной установке в ГДР. Поэтому когда наступил момент пуска промышленного агрегата «Полимир-50», то все – и разработчики, и эксплуатационщики были уверены в успехе. Эта разработка была удостоена Государственной премии СССР.

Ряд высококачественных проектов полимерных производств реализован у нас по лицензиям, закупленным у иностранных фирм. Для пуско-наладочных работ фирмы присылают небольшие бригады специалистов. Обычно эти люди имеют за плечами опыт пуска нескольких аналогичных производств в разных странах. Всем понятно, что налаживать производство по типовому проекту проще.

### **Почему технология так трудно создается**

Сколько же лет длится разработка производства нового полимера? Давайте подсчитаем. Поисковые работы в лаборатории обычно занимают 1–2 года. Специальные прикладные исследования, направленные на создание технологии, длятся примерно столько же. Создание опытной установки занимает

6–12 месяцев. Многое зависит от темпов ее освоения. Теперь добавим 1 год на проектирование опытно-промышленной установки, 1–2 года на ее строительство, 1 год на освоение. Сколько получается? 8–10 лет! А мы еще не дошли до промышленного производства, на создание которого уходит 4–5 лет. Итого получается, что путь от колбы исследователя до промышленного реактора занимает 12–15 лет.

Обратимся к иностранному и отечественному опыту. Фирма «Дюпон» (США) затратила на разработку полиформальдегида 25 лет, литьевого полиэтилентерефталата – 15 лет.

Пока речь шла о разработке сложных, пионерских процессов. Если же для нового технологического процесса можно использовать ранее созданное оборудование, то сроки разработки сжимаются.

Можно ли ускорить разработки новых полимеров, сократить путь от науки к производству? Вернемся еще раз в лабораторию. Современная приборная техника развивается по пути автоматизации эксперимента и методов обсчета его результатов. Это экономит исследовательский труд. Методы планирования эксперимента позволяют отказаться от ненужных опытов.

Проектирование опытных установок, конструирование аппаратов, их изготовление и проверка – это самые трудоемкие работы. Как ускорить эти стадии? Технологи всегда мечтают о наборе оборудования для опытных работ. Ведь уникальные аппараты требуются не так уж часто, обычно остановки связаны с отсутствием на заводе выпускаемого промышленностью оборудования.

Запасы аппаратов, машин, приборов, арматуры могут накапливаться только на опытных заводах, специализирующихся на разработке новых технологических процессов. Именно такие заводы и нужны. На них новую опытную установку будет легче собрать, чем на обычном заводе, загруженном плановым выпуском продукции.

Для испытаний нового полимера нужен набор различных перерабатывающих машин. Если эти машины находятся в дру-

гих организациях, то только на переписку и согласование рабочих программ может уйти значительно больше времени, чем на сами испытания.

Значит, основной резерв времени нужно искать на первых стадиях разработки. Можно ли вообще отказаться от опытных работ и сразу из колбы шагнуть в промышленный реактор? Фантастика? Нет.

### **Метод математического моделирования**

Этот метод зародился, когда в распоряжении математиков оказались быстроедействующие электронно-вычислительные машины – ЭВМ.

Представим себе, что технологи решили отказаться от экспериментов на опытных установках, а промоделировать эти эксперименты на ЭВМ. Для этого нужно выполнить несколько предварительных условий.

1. Перевести на математический язык, т.е. записать в виде уравнений, химические реакции превращения мономера (или мономеров) в полимер, структуру полимера.

2. Нужно располагать количественной (не качественной!) информацией о влиянии параметров молекулярной структуры на свойства полимера.

3. Математическая модель, хорошо описывающая процесс образования полимера на лабораторной установке, не пригодна для промышленного реактора – нужно ввести в нее дополнительно информацию о тепло- и массопередаче, гидродинамике.

4. Для выбора наилучшей технологической схемы, конфигурации и типа реактора нужно проводить множество расчетов, уметь сравнивать варианты по различным критериям.

Хотя общая теория моделирования фактически создана, ее конкретное применение каждый раз требует обширных экспериментальных исследований.

Зависимость разнообразных свойств полимеров от характеристик молекулярной структуры – другая сложнейшая пробле-

ма, которая сейчас находится в центре внимания специалистов по физической химии полимеров. Здесь еще многое предстоит сделать.

Описать работу химического реактора можно с помощью моделей различной сложности. Естественно, что и предсказательная сила этих моделей будет различаться. Для сравнения различных технологических схем нужны сложные кинетические модели, учитывающие влияние на процесс многочисленных факторов.

Сложную задачу перед математиками ставят экономисты. Как сопоставить в расчетах такие разнородные показатели, как количество выпускаемого полимера и его качественные показатели? Очень часто получается, что те и другие взаимосвязаны, и, выигрывая в качестве, мы проигрываем в количестве, и наоборот.

Нерешенной до сих пор задачей является детальное описание условий смешения реагентов в некоторых основных типах промышленных реакторов.

Как бы ни были сложны эти проблемы, они постепенно будут решаться. Но и технологи, механики, конструкторы наверняка без дела не останутся.

### **Почему технология быстро устаревает**

Как стремительно изменяет техника мир вокруг нас. Как быстро устаревают технические новшества вчерашнего дня. Мы с улыбкой провожаем взглядом винтовой самолет. Радиоприемник десятилетней давности выглядит словно пришелец из прошлого века.

Полимерные материалы стареют в прямом и переносном смысле этого слова. Они темнеют, желтеют, покрываются пятнами и мелкими трещинами. Это действуют кислород, тепло, ультрафиолетовые лучи.

Короток средний век жизни технологических процессов получения полимеров. Устаревает оборудование, ветшает и сама

технология. Ученые непрерывно работают над новыми идеями. Не успели внедрить один процесс, как на подходе новый, более эффективный. По расчету специалистов на Западе средний век технологического процесса 7–10 лет. И даже это время процесс не живет спокойно. Одна за другой рождаются идеи, как его усовершенствовать, интенсифицировать, оптимизировать.

Давайте отправимся последний раз на химический завод в кабинет главного инженера. Совсем недавно здесь на заводе отлаживали новое производство. Помучались изрядно, но, как будто, все самое тяжелое позади; цех работает стабильно, план выполняет, на качество продукта жалоб нет.

Но долго отдыхать главному инженеру не придется. На стол к нему ложатся бюллетени новой техники. Где-то за рубежом значительно улучшили теплостойкость подобного материала. Другая фирма рекламирует прозрачный полимер с высокой стойкостью к старению. В одном из наших НИИ разработали новые инициаторы. Потребители требуют новых марок со специальными свойствами. Главк «спускает» задания на увеличение производительности и снижение расходов. Да и работники цеха не сидят сложа руки. Вот уже десяток рацпредложений подали на различные усовершенствования.

Интенсификация, оптимизация, модификация существующих и вновь построенных промышленных установок имеет очень большое значение для народного хозяйства. В этом случае затраты на переделки оборудования могут быть невелики, а эффект от увеличения выхода продукции или улучшения ее качества может оказаться весьма ощутимым. Вот несколько примеров из технологии полимеров.

На Кусковском химическом заводе в результате исследований, проведенных совместно с Институтом химической физики АН СССР, Институтом комплексной автоматизации, научно-производственным объединением «Пластполимер», Донецким университетом и другими организациями, удалось в 6 раз (!) увеличить производительность промышленного агрегата синтеза полистирола и одновременно значительно улучшить качество материала.

Почти в 1,5 раза удалось повысить производительность крупнотоннажного агрегата синтеза полиэтилена низкой плотности на Новополоцком крупнотоннажном агрегате. Эту работу несколько лет вели совместно научно-исследовательские организации нашей страны и ГДР.

Подобных примеров можно привести множество. Практически ни один технологический процесс не живет «спокойной жизнью». Причина, наверное, заключается в молодости науки о полимерах, в молодости технологии.

Очевидно, например, что технология полимеров обильно заимствует идеи в кладовой общей химической технологии. Оттуда пришли представления о возможности и целесообразности создания укрупненных единичных агрегатов синтеза. И размеры установок полимеризации стали расти: 50 тыс. т продукта в год, 75 тыс., 100 тыс. Сейчас мировой рекорд где-то около 150 тыс. т в год.

Реакторы, работающие в режиме «кипящего» (псевдооживленного) слоя, вначале были внедрены в технологии низкомолекулярных веществ. Теперь они работают в синтезе полиэтилена и полипропилена, обеспечивая большие экономические преимущества по сравнению с ранее разработанными процессами, протекающими в растворителе.

Впереди новые задачи: быстро развивается технология олигомеров, технология получения полимерных композитов различного типа.

### **Взгляд в будущее**

Размышление автора прерывает телефонный звонок. На Куковском химическом заводе будет совещание по поводу разработки технологии новых полимерных материалов.

Автор приезжает на старый московский завод и не узнает его. На берегу пруда высится шестнадцатизэтажное здание современной архитектуры. Это исследовательский центр. Рядом появились просторные корпуса опытных установок. Столетние кирпичные здания промышленных цехов уступили место корпу-

сам из стекла и бетона, в которых разместились опытно-промышленные установки, перерабатывающее оборудование, испытательные стенды. Вокруг пруда вырос парк, ушли в прошлое неприятные запахи, которые так досаждали раньше жителям расположенных вокруг районов.

Да и химзавода больше как такового нет. Ордена Знак почета Кусковский химический завод влился в состав нового научно-производственного объединения «Норпласт». Название это расшифровывается, как «наполненные органические пластмассы». Проблема создания таких материалов оказалась столь важна, что Совет Министров СССР по предложению Госплана СССР, Госкомитета по науке и технике и Министерства химической промышленности утвердил создание специального научно-производственного объединения. Во главе объединения стоит научно-исследовательский институт, ВНИИкомполит. Он объединяет сотрудников Академии наук СССР, научно-исследовательского института пластмасс и Кусковского химзавода.

Изменилась и продукция, выпускаемая предприятием. Раньше это были пластмассы, полупродукты. На Кусковском химзаводе впервые было организовано производство мочевиноформальдегидных смол, камфары, клея БФ, кремнийорганических полимеров, блочного и пенополистирола, ударопрочного полистирола (полимеризацией в массе), полиформальдегида, полупроницаемых мембран из поливинилтриметилсилана, полибутилентерефталата и др. Но все эти новые продукты и технологические процессы были созданы в течение десятилетий параллельно с выпуском плановой продукции.

Теперь весь богатейший технологический опыт завода нацелен на разработку нового. Отсюда начинают свой путь новые материалы и новая технология на другие заводы страны.

Здесь вместе, рука об руку трудятся все разработчики процессов. Конечно, контакты и взаимопонимание появились далеко не сразу, несколько лет ушло на «приработку» исследователей и производственников, на определение общих задач

и подходов, на подготовку молодежи и переучивание вполне взрослых работников, пришедших в новое объединение из других мест.

Везде – в исследовательском центре, на опытных установках много молодых людей. Это студенты технологических вузов проходят здесь практику, учатся и работают...

В небольшом зале собрались руководители отделов и лабораторий. Выступает академик Николай Сергеевич Ениколопов – инициатор создания этого объединения и нового направления в химии и технологии полимеров. Он говорит об успехах, достигнутых нашей промышленностью в деле освоения производства наполненных минеральными наполнителями пластмасс. Их производство составило десятки тысяч тонн в год и продолжает расти. Многие новые процессы начали свой путь отсюда, из стен НПО.

С интересом слушают собравшиеся о достижениях других коллективов в этой же области. Но вот академик переходит к новым задачам. В Академии наук предложены новые разработки. Получены высокопрочные волокна из обычных пластиков – полиэтилена и полипропилена, получено стеклянное волокно в термопластной оболочке. Специалисты засыпают академика вопросами. Тут же набрасывают схему возможных технических решений, обсуждают кандидатуры исполнителей, согласуют сроки...

Автор должен признаться, что нарисованная им картина не так уж и фантастична. НПО «Норпласт» на базе Кусковского химзавода уже создано и функционирует, новые высоконаполненные полимерные материалы – норпласты – уже разрабатываются, и упомянутый академик еженедельно сидит на заводе, вникая в ход работ.

В промышленности пластических масс работает несколько НПО. На них возлагаются особые надежды: ведь несмотря на многие трудности, эти организации должны тесно связать науку с производством.



---

## Заключение

Мы прошли путь от исследовательской лаборатории до промышленного производства и убедились, что путь этот извилист и долог. Множество сложных научных и инженерных, организационных и технических задач необходимо решить по дороге, чтобы в конце ее успешно заработало промышленное производство. Мы пустились в путь вместе с пионером-исследователем, а в конце у проходной промышленного предприятия оказались окруженными целой толпой специалистов-участников разработки. Здесь и коллеги нашего исследователя по институтской лаборатории, и работники других научных институтов, создатели и наладчики приборов, специалисты по прикладной математике, механике полимеров, по стабилизации, реологии, переработке. Отдельной сплоченной группой стоят работники опытных установок-технологи, механики, операторы, лаборанты, слесари, киповцы. Конструкторы и проектанты, переработчики и специалисты по технике безопасности, огромная разношерстная толпа потребителей. Тут представители и машиностроения, и приборостроения, и автомобилестроители, и судостроители, и многие, многие другие. Целая армия.

– Но позвольте, ведь весь этот шум вокруг одного единственного полимера! А вы утверждали, что химическая промышленность выпускает их сотни. Значит вокруг каждого столько забот и хлопот?

– Абсолютно верно: вокруг каждого, и хлопоты эти не кончаются, поскольку ни на одном промышленном полимере мы не можем поставить точку и сказать – все, больше с ним делать нечего.

– Где же взять столько разных специалистов? Как ускорить все эти разработки? Каким образом сплотить всех этих людей

в единый коллектив? Как добиться взаимопонимания между ними, наладить сотрудничество? Ведь действительно получается, что на каждой стадии работ возникают сложные задачи, много объективных противоречий и трудностей.

Автор уверен в одном: какого-то одного, единственного секрета во всем этом деле нет. Создание новой технологии—сложный и многотрудный процесс, усовершенствовать его нужно во всех направлениях, по всем уровням. Нужно работать, работать над проблемами методологии, организации, экономического стимулирования, подготовки кадров, психологии и т. д. Будем строить заводы будущего ...

Станислав  
Александрович  
Вольфсон

## **От колбы до реактора**

Редактор Г. М. Медникова

Художник В. В. Киреев

Художественный редактор

Н. В. Носов

Технический редактор

В. В. Лебедева

Корректор П. Б. Иваницкая

ИБ №965

Сдано в набор 04.01.82. Подписано в печать 02.07.82 Т 11879 Формат бумаги 70×108/32 Бумага офсетная № 1 Гарн Таймс Печать офсетная Усл печ. л 9,8. Усл кр-отт 17,33 Уч-изд л. 10,78 Тираж 30 000 экз Заказ № 6 Цена 40 к Изд № 1770.

Ордена «Знак Почета» издательство «Химия» 107076, Москва, Стромынка, 13

Можайский полиграфкомбинат  
Союзполиграфпрома при Государственном  
комитете СССР по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли.  
г. Можайск, ул. Мира, 93.

[WWW.EKMOB.RU](http://WWW.EKMOB.RU)  
**00325354**



40 к.

С. А. ВОЛЬФСОН

## **ОТ КОЛБЫ ДО РЕАКТОРА**

**Эта книга — о сложном и длительном процессе превращения полимера, полученного в лабораторной колбе, в продукт, выпускаемый промышленностью. В простой и занимательной форме в ней рассказывается о разных стадиях этого процесса и о людях, принимающих в нем участие.**