



# Искусство тонких преобразований

Л. Стрельникова

*Неприязнь, которую испытывают многие к химии, невежество, которое демонстрирует молодежь, полагающая, что яркие пластиковые сапоги самозарождаются на складах бутиков, – поразительная примета времени. Почему? Это тема отдельной статьи. Пока мы просто констатируем, что словосочетание «химическая промышленность» для многих сегодня пустой звук – чем они там занимаются? Мы решили дать обстоятельный ответ на этот вопрос. Мы – это редакция журнала «Химия и жизнь» и компания «Сибур». Корреспонденты журнала побывают на основных химических производствах «Сибура» и расскажут нашим читателям о современной промышленной химии. Так вместе с вами мы встретим и отпразднуем 2011-й год, объявленный ЮНЕСКО всемирным годом химии. Кстати, лозунг всемирного года химии «Химия – это наш жизнь и наше будущее».*

## Кровь экономики

Нефть – кровь экономика. Из нее мы извлекаем мазут для тепловых электростанций, чтобы горели лампочки и работали заводы и фабрики. Из нефти мы отгоняем моторное топливо, чтобы ездили автомобили и летали самолеты. Но не только. Есть вещи не менее важные – волокна, полимеры и пластики, строительные и композиционные материалы, лекарства и косметика. Чтобы все это изготовить, необходимо сырье.

Путь от нефтяной скважины до оправы очков или корпуса мобильного телефона долгий и технологически непростой. Этот путь преодолевает химическая промышленность, занимающаяся переработкой природных углеводородов. Именно она умеет получать из нефти и попутного нефтяного газа основные продукты большой химии – этилен, пропилен, бензол, а затем превращать эти вещества в то, что нужно фармацевтическим компаниям, предприятиям легкой промышленности, строительной индустрии и многим другим.

Все, к чему бы ни прикоснулась ваша рука, содержит след химической промышленности. Поэтому состояние химической отрасли, ее доля в валовом национальном



продукте могут служить индикатором благополучия национальной экономики. В этом смысле у российской экономики явные проблемы – доля продуктов химической индустрии в ВВП составляет всего лишь 2% (сравните с 30% в Китае). Несуразно маленькая цифра для России, добывающей углеводородное сырье из земных недр. Но оставим экономику и политику «Коммерсанту». Наше дело – химия. И мы будем рассказывать о том, как природные углеводородные дары превращаются в то величайшее разнообразие веществ и материалов, без которых наша жизнь сегодня невозможна.

## В чистом поле

Дорога из Нижнего Новгорода в Кстово недолгая, всего-то 30 км, но на удивление живописная. Машина то ныряет в ложбины, то взлетает на горку, а вокруг – холмы, поля, перелески, деревушки. Еще бы коров с бубенцами, так и вовсе Швейцария. И ничто не омрачает этой красоты, хотя уже виднеется Кстово с его заводами и обязательными трубами. Но трубы «молчат» – ни дымка, ни факела. Не

работают, что ли, заводы? Работают, только теперь почти что незаметно для внешнего наблюдателя.

Здесь, в Кстово, находится Нефтехимический завод (НХЗ), принадлежащий дочернему предприятию СИБУРа – «Сибур-Нефтехиму». В этом году исполняется 10 лет, как СИБУР взял этот завод под свое крыло. А не взял бы – погиб бы завод. Ведь химическое производство, особенно производящее полупродукты, стоит посерединке между теми предприятиями, что готовят сырье, и тем, кто берет продукцию завода в дальнейшую переработку, чтобы изготовить товары. Словом, между молотом и наковальней. И если у ваших поставщиков и потребителей начались проблемы, то у вас они будут в двойном размере. НХЗ построили и запустили в 1981 году. Тогда, в советские времена, бесперебойная работа всех технологических цепочек была заботой государства, держащего в руках все5 ниточки путепроводов и товаропотоков. А как иначе согласовать и увязать множество химических предприятий, которые последовательно, но обязательно вместе работают на одну цель, хотя и расположены в разных регионах нашей огромной страны.

Завод работал согласно государственному плану, пока не пришли 90-е годы и не принесли с собой дикий капитализм. Тут-то все цепочки и тонкие связи оборвались. Химическая индустрия России погрузилась в глубокую депрессию, последствия которой переживает до сих пор. Перебои с сырьем, чехарда с потребителями, которых вдруг почему-то не стало, кризис неплатежей – страшно вспомнить. А химическое производство, особенно непрерывное, – это вам не мастерская по ремонту обуви, против которой я, разумеется, ничего не имею. Мастерскую можно закрыть на любое время и снова открыть, а с заводом такие штуки не проходят. Закрыв непрерывное производство на год-другой, и будь уверен, что больше его уже не запустишь. Руководство НХЗ чудом поддерживало дыхание завода, однако избежать кратковременных остановок не удавалось..

К счастью, в 2000-м году появился СИБУР со своей вполне государственной программой. Оказалось, что НХЗ удачно вписывался в промышленную структуру компании, которая восстановила все производственные цепочки и связи для своей деятельности. Оказалось, что в этой структуре есть предприятия, готовящие сырье для НХЗ, а также заводы, ждущие продукцию НХЗ. Одним словом, началась новая жизнь. Теперь у руководства завода голова болит только о таких понятных и милых сердцу производственных вещах, как вентили, датчики, штуцеры, компрессоры, печи, плановый ремонт, модернизация... А забота о поставках сырья, о заказах на готовую продукцию, о регулярных выплатах зарплаты – это дело менеджмента «СИБУР-Нефтехима», главный офис которого расположен в Нижнем Новгороде.

За разговорами незаметно подъехали к заводу. Огромные железные ворота плавно отползли в сторону. Сотрудник службы безопасности тщательно осмотрел машину, даже под брюшко заглянул в зеркало, придирчиво изучил пропуски и документы – можно въезжать.



Фотограф П. Маркелов

Первым делом отправились в заводоуправление. Думаю, с директором хотят познакомиться. Как бы не так. Меня ждал инструктаж по технике безопасности. Без этого к заводу и близко не подпустят. Пятнадцать минут обстоятельного рассказа, что можно, чего нельзя, как действовать, если что, где висит план эвакуации. Наконец, подпись в журнале, каска на голову, сумка с противогазом через плечо – и можно на завод. Три минуты хода от заводоуправления под морозящим дождем. «Так где же завод, наконец?» «Вот же он», — сказал мой сопровождающий Геннадий, разводя руками, как будто открывая занавес, перед тем, что никак нельзя было бы назвать заводом. В чистом поле на небольшой площадке несколько тысяч квадратных метров стоят огромные агрегаты, соединенные множеством труб, открытые ветрам и солнцу, дождю и снегу. Ни стен, ни крыши, ни входа, ни выхода, ни людей. Как в лесу. Интересно, как они делят это единое пространство без внутренних границ на цеха?

*В печах пиролиза, выстроившихся рядком, пропан и бутан превращаются в этилен, пропилен и другие продукты, которые затем придется разделять*

Все процессы невидимо протекают за стенками и обшивками реакторов, колонн, труб и ничем не выдают себя, разве что шумом от работающих компрессоров и насосов. А все сотрудники работают в центре управления, небольшом флигельке здесь же, куда на пульт выводятся необходимые показатели всех процессов – давление, температура, расход. Система работает дистанционно и с обратной связью, то есть регулировать параметра можно, не выходя из центра управления, а нажимая кнопки на компьютере. Да и сами сотрудники теперь не то, что прежде. Уже не встретишь аппаратчика в засаленном ватнике с кувалдой в руках. Нынешние – в аккуратных фирменных тужурках, касках и наушниках. Времена, действительно, изменились.

Это и есть НХЗ, где делают сразу три важнейших для химической отрасли вещества – этилен, пропилен и бензол. Причем делают их из одного сырья. Главный целевой продукт в этой троице – этилен. По этилену и считается плановая мощность завода – 300 тысяч тонн этилена в год. А полипропилен и бензол можно в данном случае рассматривать как чрезвычайно полезные побочные продукты.

### Три в одном

Сырье на НХЗ поступает свое, сибуровское, – это продукты переработки попутного нефтяного газа, которые готовят на других заводах корпорации в Тобольске, Новокуйбышевске, Томске и Чайковском. Переработка попутного нефтяного газа – тема интересная, и в следующих номерах мы к ней вернемся. А сейчас для нас важно, что на НХЗ в Кстово привозят в железнодорожных цистернах сжиженные углеводороды, добытые из попутного газа. Это пре-



Фотограф П. Маркелов

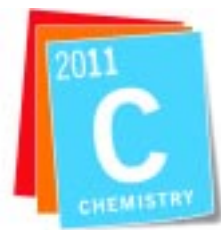
имущественно фракции  $C_3$ - $C_4$  (пропан и бутан). Но есть и более тяжелые углеводороды – пентан, гексан, гептан... Все этому богатству предстоит пройти испытание огнем, чтобы возродиться в новом качестве.

Вообще, у химиков-технологов не так велик набор инструментов, которыми они воздействуют на вещество – температура, давление, катализаторы, ингибиторы и всякого рода разбавители (инертные газы, водяной пар и растворители). Но искусное владение этим арсеналом позволяет творить чудеса: чуть температуру поднял, давление прибавил, водяного пара подпустил, нужные катализатор и ингибитор подобрал, и вот уже состав конечных продуктов изменился. Этими инструментами умело пользуются и на НХЗ.

Смесь жидких углеводородов поступает в печи пиролиза – огромные сооружения с длинными трубами, стоящие рядом. Девять двояных чешских печей, установленных в момент строительства завода, исправно работают до сих пор. Конечно, они несколько морально устарели. Поэтому им в помощь – три новеньких голландских печи четвертого поколения, запущенные в 2004–2006 годах. У них и КПД использования тепла получше, и производительность повыше. Вообще, печи на подмену должны быть обязательно. Ведь после каждых двух-трех месяцев непрерывной работы печи останавливают, чтобы их почистить – выжечь осевший на стенках в процессе пиролиза кокс, который начинает мешать эффективному теплообмену. Обычно печь за три дня приводят в порядок. Но эти три дня ее должны подменить другие.

Термический пиролиз углеводородов пока что остается основным способом получения низших олефинов: этилена и пропилена. Под воздействием только высоких температур предельные углеводороды теряют водород и становятся непредельными, рвутся углеродные цепи с образованием более легких и потому более летучих углеводородов – этилена и пропилена, увеличивающих объем реакционной массы. Процесс протекает по цепному свободно-радикальному механизму – такова общепринятая точка зрения сегодня. Однако на поздних стадиях пиролиза начинают заявлять о себе реакции конденсации, в результате которых образуются ароматические углеводороды, в том числе и полиядерные. Здесь же образуются и твердые продукты – кокс. Чтобы эти нежелательные реакции свести к минимуму, сырье разбавляют водяным паром в соотношении 1 к 0,4-0,5. В результате парциальное давление углеводородов снижается и равновесие реакции по принципу Ле-Шателье смещается в сторону образования легких летучих продуктов, то есть желаемых этилена и пропилена.

Печи пиролиза тоже не так просты, как кажется на первый взгляд. Они состоят из двух отсеков – конвекционного и радиантного. В первом сырье и водяной пар подготавливают к пиролизу – нагревают до 500-600°C. Причем реакционная смесь, движущаяся по трубчатке, здесь разогревается дымовыми газами, о происхождении которых чуть позже. А затем подогретая смесь углеводородов поступает в так называемый пирозмеевик, вертикально подвешенный в радиантном отсеке. Здесь углеводороды, стремительно движущиеся внутри труб змеевика, разогреваются внешним тепловым излучением в печи. Его испускает раскаленная внутренняя обшивка, подогреваемая с другой стороны пламенем сгорающего топлива. (А дымовые газы от этого сжигания и работают грелкой в конвекционном отсеке). Температура в змеевиках поднимается до 850°C. Этого достаточно, чтобы пиролиз успешно прошел. Причем время пребывания углеводородов в зоне реакции составляет всего лишь



## ГОД ХИМИИ

0,6-0,7 секунды. В новых голландских печах, к слову, это время еще меньше – 0,3-0,5 секунды. За такое мгновение и чихнуть-то не успеешь.

### Как их разделить?

В горячих газообразных продуктах реакции содержится много чего нужного. Состав, разумеется, зависит от исходного сырья, но в среднем печь пиролиза дает нам 20% метана, 32-33% этилена, 15-16% пропилена, 10% приходится на бутилен-бутадиеновую фракцию, от 7 до 18% — на долю фракции  $C_5$ - $C_9$  (их называют жидкими продуктами пиролиза, а на заводе – «пиролизным бензином»). Есть еще всякая мелочь: 4% этана, по 0,4-0,5% ацетилена и метилацетиленовой фракции и 3-4% тяжелых смол. Как все это разделить и что делать с мелкими примесями? Для разделения на заводе используют два процесса – последовательное сжатие смеси под давлением, позволяющее разделить смесь продуктов на крупные фракции, и последующая ректификация каждой из фракций.

Но прежде всего, эту смесь надо охладить. Причем быстро, пока в горячих продуктах пиролиза не начались вторичные реакции. Поэтому газы после печей пиролиза направляются в так называемый закалочно-испарительный аппарат (ЗИА) – большую одиноко стоящую башню-емкость. Здесь температура смеси падает до 150°C, после чего ее отправляют на так называемое «компримирование». Охлажденным газам предстоит пройти несколько ступеней сжатия на компрессорах, чтобы превратиться в жидкость. Здесь же, на участке компримирования, легко отделяются остывшие и сконденсировавшиеся тяжелые смолы пиролиза. Кстати, вполне товарный продукт, на который есть свои потребители. Вообще, на НХЗ ничего не выбрасывают – ни один продукт, пусть даже самый побочный, не идет в отход, все в дело.

*Чтобы разделить продукты пиролиза, надо сжать газообразную смесь. Это и делают с помощью мощных компрессоров*





*На ректификационных колоннах этилен отделяют от этана, а пропилен от пропана*

На первой ступени сжатия конденсируются самые тяжелые продукты – фракций  $C_{6+}$ , так называемый пироконденсат. Следующая ступень сжатия переводит в жидкую фазу продукты фракции  $C_5$ . Жидкие продукты первых двух ступеней – это сырье для получения бензола, который делают здесь же на комплексе установок. Следующая ступень сжатия позволяет отделить жидкую фракцию  $C_4$ , следующая –  $C_3$ . И, наконец, на последней ступени мы получаем смесь самых легких продуктов – водорода, метана, этана, этилена и ацетилена. А дальше идет черед химических преобразований: надо отделить метан, чтобы направить его на разогрев печей пиролиза, надо отделить водород, которым необходим для гидрирования ацетилена и так далее. Все эти процессы искусно увязаны между собой и все они работают на получение максимального выхода целевого продукта. А наша цель – этилен.

Чтобы выделить этилен из этан-этиленовой фракции, надо прогнать ее через ректификационную колонну высотой около 60 метров. Благодаря разнице в температурах кипения, этилен и этан разделяются, отделяются и остатки метана. Все, кроме этилена, возвращается в цикл на повторную переработку. Одна колонна дает 30 тонн этилена в час. Этот чистенький товарный продукт можно «упаковывать», а в нашем случае прямоком гнать по трубопроводу длиной 57 км в Дзержинск на свой же, сибуровский завод по производству окиси этилена. Ведь этилен – это газ, сжигать его и перевозить в цистернах невероятно

дорого. Именно поэтому в большинстве случаев производство этилена ориентировано на внутрикорпоративное потребление, когда предприятия связаны между собой

Аналогичное происходит выделение пропилена из пропан-пропиленовой фракции  $C_3$  на своей колонне ректификации. Выход пропилена – 65-80%, это товарный продукт, а вот пропан возвращается на пиролиз. Бутилен-бутадиеновая фракция  $C_4$  тоже выделяют на отдельной ректификационной колонне. Этот продукт целиком отправляется на завод «СИБУР-Шина» в Ярославле, где используется для изготовления каучука.

## Бензол

Бензольный «цех», как впрочем, и все остальные, примечателен тем, что здесь не пахнет – ни бензолом, ни сероводородом, ничем. А это значит, что все агрегаты и их соединения хорошо подогнаны и содержатся в порядке.

В том пироконденсате, который мы получили в результате разделения, содержится 60-70% ароматики – бензола, толуола и ксилола. Остальное приходится на долю неароматических углеводородов  $C_6-C_8$  и тяжелой фракции  $C_{9+}$ . Последнюю и отделяют в первую очередь на первой же колонне в бензольном цеху. То, что осталось, гидрируют, чтобы избавиться от диеновых продуктов и стиролов. Этот процесс сам по себе не пойдет, поэтому прибегают к помощи палладиевого катализатора, а температуру в зоне реакции поднимают до  $\sim 100^\circ\text{C}$ .

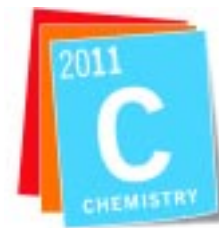
Но прежде чем мы займемся бензолом, необходима еще одна важная процедура – надо избавиться от сернистых соединений, которые всегда присутствуют в этой смеси. Проблема решается с помощью кобальто-молибденового катализатора и нагрева до  $340^\circ\text{C}$ . В результате образуется сероводород и чистенькая смесь  $C_6-C_8$ , которая направляется на гидродеалкилирование.

Здесь еще жарче. Смесь подогревают в печи до  $590^\circ\text{C}$ , чтобы процесс пошел. А дальше в реакторе он так расходуется, что разогревает содержимое печи до  $700^\circ\text{C}$ . В результате происходит так называемое деалкилирование – толуол и ксилол лишаются своих боковых групп, образуя метан, этан и бензол. Метан возвращают в топливный блок, этан – в печь пиролиза, пусть попробует еще раз превратиться в этилен, а бензол – в цистерны и на заводы, свои или сторонние.

## Мощности и мечты

Вот так схематично, с точки зрения химика, и слишком подробно, с точки зрения далекого от химии человека, выглядит процесс промышленного получения славной тройцы – этилена, пропилена и бензола на НХЗ в Кстово. Сегодня «СИБУР-Нефтехим» входит в пятерку крупнейших российских производителей этилена, на его долю приходится 10-11% всего этилена, производимого в стране, а НХЗ производит 11% пропилена и 8% бензола от общего объема производства в стране. Весь этилен поступает на переработку на другие заводы компании, 34 % пропилена уходит на экспорт.

В целом все выглядит неплохо, однако проблемы есть. И главная – стареющее оборудование, которое не позволяет наращивать мощности. Технологический прогресс идет быстро, появляются более эффективные и производительные аппараты. Но ведь немислимо перестраивать заводы каждые 10-15 лет. Поэтому сегодня в компании разработан план модернизации НХЗ. Процесс уже пошел, и к 2013 году на НХЗ в Кстово мощность его установок будет увеличена по всем целевым продуктам: этилена – с нынешних 240 тысяч тонн в год до 360, пропилена – с 116



ГОД ХИМИИ

*Петр Владимирович Крупнов, директор "СИБУР–Нефтехима", считает, что тот, кто в совершенстве овладеет катализаторами, бюджет править миром*

до 180, бензола – с 96 до 105. А к 2015 мощность может еще больше прирасти – до 450 тыс. тонн этилена, 220 тыс. тонн пропилена и 140 тыс. тонн бензола в год.

Но как же это можно сделать на том же оборудовании? Частично оно будет заменено. Новые голландские печи четвертого поколения уже готовы к работе. В строй будут введены новые компрессоры, а система газоразделения с ее ректификационными колоннами будет подвергнута серьезнейшей реконструкции. Разумеется, все это потребует средств, и не малых, а также добавит головной боли, волнений и сверхурочных. Но для тех, кто влюблен в свое производство, это приятные, созидательные хлопоты. А здесь люди именно таковы. Директор НХЗ Вячеслав Васильевич Ретужин знает на заводе каждый винтик и фланец, поскольку прошел весь путь от аппаратчика до директора, и потому пользуется безграничным и заслуженным уважением. Да и с его подчиненными приятно иметь дело: доброжелательные, спокойные, с чувством достоинства, в общем – позитивные, как говорит сегодня молодежь. Видимо, развитию этих качеств, столь ценимых мною в мужчинах, способствует характер работы, когда ты каждый день видишь результаты своего труда — продукцию твоего завода, которую ждут. Не знаю, понимают ли они, что именно производственники держат на плаву мировую экономику, а вовсе не банки.

Набегавшись по заводу, возвращаемся в кабинет у Петра Владимировича Крупнова, генерального директора «СИБУР-Нефтехима». Хозяин угощает чаем, и не просто чаем, а пуэром. Этот необыкновенный зеленый чай закладывают в специальные ящики и закапывают в землю на десятки лет, чтобы прошла ферментация. Но прежде из свежих листьев чая отжимают весь сок. Заваренный пуэр изумительного красно-коричневого цвета без малейших намеков на вяжущие танины. Пьешь и наслаждаешься, заодно и поговорить можно.

Разговор от дел производственных плавно переходит к науке. У СИБУРА прекрасный слоган «Искусство тонких преобразований», который придумал президент компании Дмитрий Конов. «Но без науки никаких тонких преобразований не получится», — замечаю я. «Да, конечно, поэтому мы начали активное сотрудничество с Институтом катализа РАН в Новосибирске, с ИНХС им. Топчиева в Москве. Нужны новые эффективные катализаторы. Я вообще думаю, что тот, кто в совершенстве овладеет катализаторами, тот будет править миром».

Поэтому СИБУР создал в Томске в 2008 году свой корпоративный исследовательский центр НИОСТ, оснащенный самым современным аналитическим оборудованием и пилотными установками. Научная команда здесь работает более чем по 40 направлениям. Разумеется, приоритетны прикладные исследования, но и на долю фундаментальных приходится заметная часть. Компания возлагает большие надежды на свой исследовательский центр и потому денег не жалеет. Объем инвестиций СИБУРа в НИОСТ уже составил 1,3 миллиарда рублей.

Сложность и многоступенчатость технологического процесса на НХЗ поражает. Невозможно пересчитать все стадии – обязательно собьешься со счета. И понятно, что руководители мечтают о простых преобразованиях, которые позволят в одну стадию, например, из метана получать этилен. К слову сказать, процесс получения этилена из метана в лабораториях ученых уже создан, только для промышленного использования непригоден – ни технологически, ни финансово. Но мысль верная. Правда, в своих мечтах я еще большая экстремистка и сырьем для будущей химической промышленности рассматриваю не метан, а углекислый газ. А почему бы и нет? Ведь растения владеют фотосинтезом в совершенстве? Пора бы уже и человеку освоить эту уникальную природную технологию.

## О самом главном

На этом можно было бы и закончить репортаж. Но, кажется, я забыла сказать о самом главном – зачем нам с вами нужен этилен, пропилен и бензол? Ну, это совсем просто. Назову лишь основные, легко узнаваемые продукты. Из этилена при дальнейшей переработке можно получить много чего, но достаточно упомянуть лишь два продукта – полиэтилен и этиловый спирт. Из пропилена также получают полимеры, глицерин, изопропиловый и бутиловый спирты. А бензол необходим для изготовления синтетических волокон, пластмасс, красителей и огромного спектра продуктов органического синтеза. И для каждого из перечисленных случаев работает отдельное производство.

Полезно бывать на химических заводах. Вот насмотрелась на то, как получают этилен, и рука уже не поднимается выбросить полиэтиленовый пакет в мусорное ведро, хотя он для этого предназначен, — слишком много труда и ресурсов вложили технологи и заводчане, чтобы добыть это вещество.





