

# КИСЛОРОД

БЮЛЕТЕНЬ

ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА ГЛАВКИСЛОРОДА  
ПРИ СНК СССР

№ 4

1944

## С ЗАСЕДАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КИСЛОРОДА В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ \*)

Проф. А. Г. КАСАТКИН,

Зам. Наркома химической промышленности СССР, член Технического совета Главкислорода

Химическая промышленность с точки зрения возможных масштабов применения кислорода не может быть поставлена в один ряд с чёрной металлургией. В этом отношении химики предъявляют кислородной промышленности более скромные требования. Однако, рассматривая внедрение кислорода в химическую промышленность как средство её движения вперёд, нужно считать, что кислород в химии не менее важен, чем в чёрной металлургии.

Как известно, экономика процесса, основным мерилом которой служит производительность труда, является решающим фактором, определяющим перспективы промышленного применения и дальнейшего развития любого производственного, в том числе и химического, процесса. Повышение производительности труда, уменьшение затраты рабочего времени на единицу готовой продукции — важнейшая задача любой отрасли народного хозяйства.

В химической промышленности производительность труда, а стало быть, и экономический эффект процесса в конечном итоге определяется двумя факторами.

Во-первых, производительностью установленного оборудования. От этого зависит размер капиталовложений и затрат, связанных с амортизацией и ремонтом оборудования, а также потребность в рабочей силе, непосредственно занятой в производстве.

Во-вторых, затратами сырья и энергии на единицу продукции и расходами, связанными с транспортом сырья и топлива.

Производительность заводских агрегатов химической промышленности при всех прочих равных условиях определяется скоростью протекания химических реакций.

Чем большую скорость реакции мы можем осуществить, тем эффективнее будет процесс, тем большей производительностью будут обладать промышленные установки. В последнее время все усилия по усовершенствованию и рационализации производственных процессов были направлены в сторону их интенсификации прежде всего путём ускорения химических реакций.

Рассматривая значение кислорода для химической промышленности с этой точки зрения, мы найдём в ней ряд важнейших отраслей, где применение кислорода, наряду с применением катализаторов, как раз и является тем средством, которое позволит

\*) Доклад на заседании Технического совета Главкислорода при СНК СССР 7 марта 1944 года.

достичь значительной интенсификации основных производственных процессов.

Благоприятным в этом отношении представляется тот факт, что кислород является одним из основных компонентов для значительного числа химических процессов. Во многих случаях он применяется в качестве сырья, а ещё чаще используется для важнейших вспомогательных процессов, с помощью которых осуществляются основные химические реакции. Так, получение азото-водородной смеси для синтеза аммиака, сжигание колчедана и серы в сернокислотном производстве, обжиг известняков, окисление ряда жидких и газообразных полупродуктов и многие другие процессы химической промышленности совершенно немыслимы без применения кислорода.

Наиболее доступным и дешёвым источником кислорода для всех этих процессов является воздух. Поэтому до настоящего времени во всех случаях, когда для осуществления реакций требовались большие количества кислорода, он применялся в составе воздушной смеси. Однако, как известно, содержание кислорода в воздухе по объёму составляет всего лишь 21%.

Согласно основному закону кинетики химических процессов — закону действующих масс, скорость химической реакции пропорциональна активным массам реагирующих веществ. Иными словами, скорость реакции пропорциональна молекулярным или объёмным концентрациям реагирующих веществ. Таким образом, относительно небольшое содержание кислорода в воздухе обуславливает и небольшую скорость химических процессов. Отсюда следует, что повышение содержания кислорода в воздушной смеси или полная замена воздуха чистым кислородом должны привести к значительному повышению скорости реакции и, следовательно, к более интенсивному процессу.

Уже исходя из этих теоретических положений, можно сказать, что применение кислорода в химической промышленности позволит значительно повысить производительность действующих заводов, а при строительстве новых предприятий — значительно уменьшить капиталовложения и материальные затраты, сократить сроки строительства и т. д.

Скорость химических реакций и интенсивность производственных процессов в значительной степени зависят также от температуры протекания процессов. В большинстве случаев повышение температуры процесса до

известных пределов даёт значительное увеличение скорости реакций. Применение вместо воздуха обогащённой кислородом воздушной смеси или чистого кислорода является в ряде случаев наиболее простым методом повышения температуры процессов и, следовательно, их интенсификации.

Эффективность различных двигателей оценивается обычно коэффициентом их полезного действия. В химической промышленности экономичность того или иного процесса в первую очередь оценивается коэффициентом использования сырья или выходом готовой продукции.

Увеличение концентрации кислорода в газовых смесях в ряде случаев может привести к сдвигу химического равновесия в сторону более полного протекания реакций. Это в свою очередь приведёт к более полному использованию исходных материалов, снижению расходных норм сырья, т. е. в конечном результате к повышению выхода готовой продукции.

Увеличение концентрации кислорода в газовых смесях приведёт к уменьшению массы газовых потоков. Это позволит, во-первых, снизить механические потери частиц продукта, уносимых газами, уменьшить потери продукта и тепла с отходящими газами и, во-вторых, сократить расход энергии, затрачиваемой на продвижение газовых потоков.

Особенно большой экономический эффект может дать применение кислорода ввиду открывающихся при этом возможностей использования в промышленности более дешёвых видов сырья и топлива. Во многих случаях при использовании кислорода в составе обычного воздуха мы вынуждены применять в производстве обогащённое дальнепривозное сырьё. Увеличивая концентрацию кислорода или полностью заменяя воздух кислородом, мы сможем осуществить производственные процессы с использованием менее качественных и более дешёвых местных сырьевых материалов и топлива.

Некоторые крайне желательные с экономической точки зрения процессы, как например, конверсия метана, до сих пор не нашли своего осуществления только потому, что применение кислорода в составе обычного воздуха не даёт необходимого эффекта. Обогащение воздуха кислородом в этих случаях как раз и может дать возможность осуществить эти процессы. Наконец, применение кислорода в отдельных отраслях химической промышленности позволит перейти от техни-

чески отсталых периодических процессов к более прогрессивным — непрерывным.

Таковы в общих чертах, теоретические предпосылки применения кислорода в химической промышленности. Практическое решение этой задачи зависит прежде всего от того, как скоро химическая промышленность сможет получить достаточные количества относительно дешёвого кислорода.

Переходя к практической стороне вопроса, следует отметить, что наиболее крупными по масштабам и важными по значимости отраслями химической промышленности являются как раз те отрасли, где полная или частичная замена воздуха кислородом может дать значительный эффект. Такими отраслями являются: производство синтетического аммиака, слабой и крепкой азотной кислоты, сернокислотное производство, а также производство кальцинированной соды, карбида кальция и, наконец, получение синтетического жидкого топлива.

К сожалению, не во всех этих отраслях вопрос о применении кислорода изучен в достаточной степени. В некоторых из них этот вопрос уже достаточно ясен, требуется только дешёвый кислород; в других — нужно начать с предварительных технико-экономических расчётов и исследовательских работ.

Рассмотрим вкратце отдельные отрасли химической промышленности, где применение кислорода обещает дать особенно большой эффект.

### Производство синтетического аммиака

1. Применение кислорода в генераторах водяного газа, работающих на металлургическом коксе. Для синтеза аммиака требуется азото-водородная смесь, содержащая на один объём азота три объёма водорода. Ряд наших заводов получает такую смесь при помощи генераторов водяного газа, работающих на металлургическом коксе, причём кокс в большинстве случаев приходится завозить издалека. Расход кокса на одну тонну готового аммиака в среднем составляет более двух тонн. Таким образом, эта отрасль химической промышленности потребляет значительное количество металлургического кокса.

Существующие генераторы водяного газа работают на паро-воздушном дутье периодически. Вследствие эндотермичности основной реакции газификации углерода водяным паром, этот процесс приходится регулировать,

восстанавливая необходимую температуру в генераторах при помощи горячего воздушного дутья. Подача воздуха в газогенератор чередуется с подачей пара. Практически весь процесс газификации протекает в шесть последовательных стадий. Первая стадия — подача горячего воздушного дутья для накопления тепла и повышения температуры. Вторая стадия — продувка генератора водяным паром с целью очистки аппаратуры и газопровода. Третья, четвёртая и пятая стадии — собственно газификация. При этом в третьей стадии водяной пар подаётся снизу газогенератора, в четвёртой — сверху, с целью использования высокой температуры верхних слоёв кокса и повышения температуры нижних слоёв. В пятой стадии пар снова подаётся снизу для удаления водяного газа из нижней части газогенератора с целью предупреждения образования взрывчатой смеси. Шестая стадия процесса — воздушное дутьё. Газ при этом отводится не в атмосферу, а в скруббер и газовую магистраль.

Весь цикл работы газогенератора длится 4,5—5 мин. Переключения дутья осуществляются автоматически. Однако, при этом значительная часть кокса расходуется непроизводительно. Большая часть газов и тепла уходит в атмосферу и коэффициент полезного действия газогенератора весьма низок.

Применение в генераторах водяного газа парокислородного дутья вместо паровоздушного позволяет вести процесс газификации непрерывно. Это даёт следующие преимущества:

а) повышает коэффициент полезного действия газогенератора по коксу с 0,64 при паровоздушном дутье до 0,8 при парокислородном дутье, снижая, таким образом, расход кокса, примерно, на 25—30%;

б) повышает производительность газогенераторов, примерно, на 30—40%;

в) значительно упрощает технологическую схему процесса, облегчает контроль и обслуживание газогенераторов.

Опыты по применению кислорода для получения азото-водородной смеси в генераторах водяного газа были проведены Государственным институтом азота ещё задолго до войны. Их результаты не были внедрены в производство лишь из-за отсутствия в то время на действующих заводах достаточного количества кислорода.

В настоящее время на одном из заводов Наркомхимпрома пущен в эксплуатацию газогенератор на кислородном дутье. Опыт ра-

боты этого газогенератора подтвердил указанные выше преимущества парокислородного дутья.

При переводе генераторов водяного газа с паровоздушного на парокислородное дутьё требуется  $600 \text{ м}^3$  90-процентного кислорода на тонну аммиака. Концентрация кислорода в дутьё составляет, примерно, 50—60%.

Перевод газогенераторов действующих азотных заводов на парокислородное дутьё требует строительства кислородных установок. Производительность таких установок, по нашему мнению, должна доходить до 5000—6000  $\text{м}^3$  газообразного кислорода в час.

Перевод газогенераторов на парокислородное дутьё позволит сэкономить от 25 до 30% потребляемого кокса и повысить производительность газогенераторных установок на 30—40%.

2. Применение кислородного дутья в газогенераторах новой конструкции с целью замены кокса местным углем. Применение кислорода в процессе получения азото-водородной смеси даёт возможность полностью освободить азотную промышленность от необходимости потреблять дорогой и дальнепривозной металлургический кокс, заменив его местными и низкосортными каменными углями.

Для этого требуется газогенератор нового типа, работающий по принципу «кипящего» слоя. Конструкция такого газогенератора, пригодного для газификации на парокислородном дутьё различных углей, разработана ГИАП'ом. Газогенератор «кипящего» слоя обладает весьма высокой производительностью. В настоящее время такой газогенератор монтируется на одном из аммиачных заводов Наркомхимпрома. Монтаж его предполагается закончить к середине 1944 г. После этого будет произведена опытно-заводская эксплуатация. В случае положительных результатов такие газогенераторы могут быть установлены на всех действующих аммиачных заводах, получающих азото-водородную смесь путём газификации металлургического кокса. Это даст большой экономический эффект:

а) высвободит сотни тысяч тонн металлургического кокса; б) разгрузит железнодорожный транспорт от перевозок кокса и в) значительно снизит себестоимость готового аммиака.

Расход кислорода на одну тонну аммиака в данном случае составит, примерно, 700—800  $\text{м}^3$ .

3. Применение кислорода для конверсии метансодержащих газов. В настоящее время некоторые наши заводы получают водород для азото-водородной смеси из коксового газа путём применения аппаратов глубокого охлаждения. Получение азота осуществляется из воздуха обычными разделительными установками высокого давления.

Практически более целесообразно получать водород не на установках глубокого холода из коксового газа, а путём конверсии метана, причём особенно рентабельно использовать для этого природные метансодержащие газы. Конверсия метана вполне возможна с применением воздушной смеси, содержащей около 40% кислорода. Она может быть осуществлена в аппаратах непрерывного действия, не требующих для их сооружения специальной жароупорной стали.

Государственным институтом азота были проведены соответствующие опыты на крупной полузаводской установке в Днепродзержинске. Эти опыты показали, что конверсия метана с участием обогащённого воздуха при получении азото-водородной смеси может дать следующий эффект: а) исключается необходимость расходования металлургического кокса; б) значительно уменьшаются капитальные вложения на строительство аммиачных заводов вследствие замены сложных дорогостоящих установок глубокого охлаждения более простым оборудованием конверсии, а также вследствие отказа от воздушноразделительных установок для получения азота; в) сокращается потребность в специальных хромоникелевых сталях для сооружения установок; г) значительно упрощается технологическая схема производства и облегчается обслуживание установок.

Расход кислорода для конверсии метана составляет приблизительно  $400 \text{ м}^3$  на тонну аммиака. Таким образом, при строительстве заводов средней мощностью в 50 тыс. т аммиака в год потребность в газообразном кислороде составит всего лишь  $2500 \text{ м}^3$  в час.

#### Интенсификация кислородом производства слабой азотной кислоты

Кислород может быть использован в производстве слабой азотной кислоты, как при окислении аммиака, так и в абсорбционных башнях при окислении  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$ .

Реакция окисления аммиака протекает в конверторах на платиновом или платино-ро-

дневом катализаторе и практически необратима. Влияние концентрации кислорода в воздушной смеси, поступающей на окисление, изучено достаточно подробно.

Реакция окисления  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$  практически также идёт в одну сторону. Однако, она требует времени, и её скорость определяется содержанием в газе как  $\text{NO}$ , так и кислорода. Расчёты, произведённые Институтом азота, показывают, что скорость процесса в абсорбционных башнях азотокислотного производства изменяется пропорционально концентрации кислорода в газах. Следовательно, удельный объём башен будет изменяться обратно пропорционально концентрации кислорода. На изменении объёма абсорбционной системы увеличение концентрации кислорода сказывается также в связи с уменьшением объёма газов вследствие сокращения количества балластного азота. При этом удельный объём абсорбционной системы будет изменяться прямо пропорционально изменению объёма газовой смеси. Однако, последнее справедливо лишь до известного предела. Расчёты показали, что таким пределом является содержание кислорода в газе около 27,5%, химическое же влияние добавочного кислорода не ограничивается таким процентом его содержания.

Ниже приводятся расчётные данные, характеризующие увеличение производительности абсорбционной системы и расход кислорода в зависимости от его содержания в газовой смеси:

Концентрация кислорода в %	21	22,2	25	27,5	28,5	33,3	40
Производительность абсорбционной системы	1	1,18	1,63	2,0	2,33	3,52	5,13
Расход кислорода (в м <sup>3</sup> на тонну продукта)	0	68	180	250	315	520	800

Таким образом, при содержании кислорода в газе в количестве 40% представляется возможным увеличить производительность абсорбционной системы в 5,13 раза. Однако, надо полагать, учитывая пределы скорости движения газа и плотности орошения абсорбционных башен, что осуществить такую производительность невозможно.

Наиболее целесообразным представляется увеличение концентрации кислорода до 27,5%. При этом на тонну азотной кислоты

расходуется 250 м<sup>3</sup> кислорода. Такое увеличение концентрации кислорода позволяет повысить производительность абсорбционных башен в два раза, не выходя за предел допустимой плотности орошения башен. Например, производительность абсорбционной установки, рассчитанной на производство в нормальных условиях, т. е. без добавки кислорода, 60 тыс. т кислоты в год, можно довести до 120 тыс. т в год. Капиталовложения по отделению абсорбции сократятся при этом почти в два раза, а экономия специальной стали составит приблизительно 150 т. Соответственно сократятся, примерно, в два раза расходы, связанные с амортизацией оборудования, текущим ремонтом и т. д. Однако, весь этот процесс может дать экономическую выгоду только при стоимости кислорода, не превышающей 1,8 коп. за 1 м<sup>3</sup>. Более высокая цена на кислород приведёт к повышению себестоимости готовой кислоты.

#### Применение кислорода для получения крепкой азотной кислоты

В настоящее время крепкая азотная кислота получается путём концентрирования слабой азотной кислоты. В качестве водоотнимающего средства используется серная кислота, расход которой, в виде купорасного масла, составляет примерно 3,5 т на одну тонну крепкой азотной кислоты. Этот способ производства азотной кислоты является громоздким, требует значительных расходов специальных сталей для аппаратуры и сопровождается значительными потерями кислоты.

Непосредственное получение крепкой азотной кислоты с помощью обычного воздуха невозможно. Эту задачу можно решить лишь с применением кислорода. Подавая в жидкие окислы азота, получающиеся при контактном окислении аммиака, под давлением около 50 атмосфер кислород, можно получить непосредственно азотную кислоту концентрации около 96—98%. При таком процессе полностью отпадает необходимость в расходовании серной кислоты.

Экономический эффект осуществления прямого синтеза с помощью кислорода выразится прежде всего в значительном уменьшении капиталовложений при строительстве заводов. Экономия на капиталовложениях составит около 8 млн. рублей для цеха азотной кислоты, мощностью 100 тысяч т в год. Снизится также расход специальных сталей. Кроме того, отпадёт необходимость в расходе

не только серной кислоты, но и мазута (по старому способу производства на 1000 т азотной кислоты расходуется, примерно, 50 т мазута). Себестоимость азотной кислоты уменьшится на 15—20%.

Технологическая схема прямого получения крепкой азотной кислоты с применением кислорода значительно проще существующей. Эта схема позволит получать как крепкую, так и слабую азотную кислоту. Расход кислорода составит до 150 м<sup>3</sup> на тонну крепкой азотной кислоты. Для цеха мощностью 100 тыс. т кислоты в год понадобится 2000—2500 м<sup>3</sup> кислорода в час.

### Интенсификация кислородом производства серной кислоты

Как известно, в промышленности в настоящее время применяются два способа получения серной кислоты: башенный и контактный. Несомненно, что применение кислорода позволит значительно интенсифицировать все стадии производства серной кислоты как в башенном, так и в контактном процессах. При этом могут быть значительно снижены коэффициенты расхода сырья. Всё это раскрывает большие возможности в развитии техники сернокислотного производства.

Сжигание сернистого сырья с применением кислорода даст возможность получать более концентрированный сернистый газ. Это и является основной предпосылкой для интенсификации производства серной кислоты. Кроме того, удастся совместить процесс обжига сырья с получением агломерированного огарка, ценного сырья для чёрной металлургии, непосредственно из печей. Увеличение концентрации кислорода в воздушной смеси, поступающей в обжиговые печи, и повышение температуры обжига в несколько раз повысят скорость горения сырья и, таким образом, интенсивность процесса. Применение кислорода значительно уменьшит объём печного газа, снизит количество уносимой им пыли и, следовательно, сократит объём пылеочистительной аппаратуры, в частности электрофильтров. В башенном процессе значительно уменьшится частота промывок и перенасадок башен. Уменьшение объёма газа позволит сократить расход энергии на продвижение газовых потоков и значительно снизит потери азотной кислоты, уносимой с отходящими газами.

При производстве башенной кислоты за счёт увеличения концентрации кислорода

должна повыситься скорость окисления. Это даст возможность при строительстве новых цехов значительно сократить габариты башен и тем самым уменьшить капиталовложения.

Повышенное содержание в печном газе сернистого ангидрида и кислорода позволит также в значительной степени интенсифицировать производство контактной серной кислоты. Можно считать, что производительность сернокислотной установки будет повышаться, примерно, пропорционально увеличению содержания кислорода в газе, соответствующего концентрации кислорода в воздушной смеси, поступающей на обжиг.

Кислород для контактного процесса может иметь значение не только как фактор интенсификации. Применение кислорода позволит более легко получать 100-процентный серный ангидрид и высокопроцентный олеум.

К сожалению, применение кислорода в сернокислотном производстве ещё не достигло промышленного значения, как это имеет место в производстве синтетического аммиака. Однако, теоретические и экспериментальные работы, проведённые в Научно-исследовательском институте удобрений и инсектофунгицидов, позволяют считать, что применение кислорода в сернокислотном производстве является вполне реальным и может дать весьма значительный экономический эффект.

### Кислород в производстве кальцинированной соды

Кислород, входящий в состав воздуха, применяется в производстве кальцинированной соды. Однако, вопросы обогащения воздуха или полной замены его кислородом в этом производстве не изучены.

Кислородное дутьё при обжиге известняка на содовых заводах значительно обогатит печной газ углекислотой. Применение в аммиачно-содовом процессе газа, содержащего 60—70% углекислоты (вместо 32—38%), может привести к значительной интенсификации основной стадии производства соды — процесса карбонизации. Можно ожидать, что производительность карбонизационных колонн повысится не меньше, чем на 20%. Учитывая большие масштабы производства кальцинированной соды, нужно на этот способ увеличения производительности содовых заводов обратить серьёзное внимание.

Наряду с интенсификацией процесса карбонизации увеличится и производительность аппаратуры отделений абсорбции и дистилля-

ции, а также компрессорного отделения. Это повышение производительности должно привести к снижению расхода сырья за счёт более полного использования натрия. Благодаря уменьшению объёма газа вследствие сокращения количества балластного азота, понизятся потери аммиака, уменьшится расход пара и энергии.

### Кислород в производстве карбида кальция

При наличии больших количеств дешёвого кислорода возможна организация производства карбида кальция в печах типа доменных на кислородном дутье. Этот процесс требует, правда, значительно большего расхода кокса по сравнению с электротермическим методом получения карбида кальция. Кроме того, качество доменного карбида будет по сравнению с электротермическим несомненно более низким. Однако, в доменном процессе будет получаться большое количество технологического газа высокого качества (около 6000 м<sup>3</sup> на тонну карбида), с содержанием в нём 60—90% окиси углерода. Если использовать полученный газ для производства аммиака и метанола, а карбид — для получения ацетилена, то производство карбида в доме с кислородным дутьём будет рентабельным. Общая экономика такого комплексного производства может иметь вполне благоприятные показатели. В этом свете разработка и изучение доменного, способа производства карбида кальция являются целесообразными.

### Использование колошниковых газов доменных печей, работающих на кислородном дутье

Говоря о перспективах применения кислорода в химической промышленности, нельзя не остановиться на вопросах комплексного использования сырья и совместной работы химических и металлургических заводов. Трезвычайно заманчивым в этом отношении является использование в качестве сырья для получения синтетического аммиака, метанола и синтетического жидкого топлива олошниковых газов доменных печей, работающих на кислородном дутье.

Колошниковые газы доменных печей, работающих, например, на 60-процентном кислородном дутье, будут содержать около: 60% окиси углерода, 10% водорода, 20% азота, 10% углекислоты.

Использование таких газов для синтетических целей сулит освободить химическую промышленность от строительства на аммиачных заводах и заводах синтетического жидкого топлива громоздких газогенераторных станций. Отпадёт также необходимость расходовать огромное количество кокса или других видов топлива. Выгоды такой совместной работы химии и чёрной металлургии с экономической и технической точек зрения должны быть исключительно ощутимы.

\*\*

Рассмотренные примеры далеко не исчерпывают всех возможных путей применения кислорода в химической промышленности, — они являются лишь наиболее изученными в настоящее время. Несомненно, что использование кислорода возможно и во многих других процессах химической промышленности.

Вопрос о целесообразности применения кислорода в химических процессах не является новым. Преимущества замены воздуха кислородом для целого ряда производств давно известны. Применение кислорода во многих уже достаточно изученных процессах широко не осуществляется в производстве только потому, что химическая промышленность не располагает достаточными количествами дешёвого кислорода. Чем скорее будет организовано производство кислородных машин, тем скорее химическая промышленность перейдёт к применению кислорода в широких масштабах.

### ОБСУЖДЕНИЕ

С. И. Вольфович (Член-корр. Академии Наук СССР): Применение кислорода в первую очередь будет наиболее эффективным в процессах газификации топлив, в азотной и сернокислотной промышленности. Большого внимания заслуживает использование кислорода для переработки низкокачественного сырья и топлива и получения концентрированных газообразных окислов.

Кроме процессов, перечисленных в докладе, следует глубже изучить, путём расчётов и экспериментов, применение кислорода для термических процессов возгонки фосфора и получения карбида кальция в доменных или других печах, с применением обогащённого кислородом воздуха и попутным получением газов, годных для синтеза аммиака или органических синтезов. По предварительным расчётам Института по удобрениям и инсектофунгицидам на 1 т фосфора потре-

бывалось бы около 8000 м<sup>3</sup> кислорода. Если последующее окисление фосфора с получением фосфорной кислоты и концентрированных удобрений даст сравнительно дешёвую продукцию, то потребление кислорода может принять крупные размеры. Экономическая сторона решит также вопрос о получении карбида кальция не в электропечи, а в доменной печи на кислородном дутье, согласно предложению Института азота. Эти процессы должны обязательно рассматриваться как комплексные технологические процессы с получением ценных газов, а возможно, и с попутным получением строительных материалов из шлаков (при получении фосфора) и ферросплавов.

Следует изучать применение кислорода в процессах получения ряда органических продуктов окислением углеводов и ароматических соединений; в частности, представляет интерес изучение процессов парофазно-окислительного крекинга нефти с применением кислорода, окисления этилена, окисления нафталина во фталевый ангидрид, получения гликолей, моторных топлив и др.

Кислород может помочь кооперированию некоторых производств химической промышленности с чёрной и цветной металлургией.

Кроме известной проблемы получения чугуна на кислородном дутье с получением азото-водородной смеси для синтеза аммиака, в этом аспекте интересно изучение процессов выплавки цветных металлов из сульфидных руд с применением кислорода. Так, например, некоторое количество меди выплавляется в настоящее время из сульфидных руд полупиритным способом, т. е. с добавкой в шихту кокса, так как серы в руде нехватает для достижения необходимой высокой температуры. Возможно, что применение кислорода позволит вести процесс на полной пиритной плавке, т. е. без введения кокса и получать газ с более высоким содержанием сернистого ангидрида. Это облегчит дальнейшую переработку газа на серную кислоту или серу.

Интересно осветить вопрос о кооперировании производства и применения кислорода с получением и использованием холода в химической промышленности.

Масштабы возможного потребления кислорода в химической промышленности меньше, чем в металлургии и в процессах газификации топлив. Согласно расчётам К. М. Малина, если бы перевести на кислород все наши сернокислотные заводы, то они потребили

бы его примерно столько, сколько требует одна мощная доменная печь.

Опытно-заводские работы, без чего нельзя переходить к промышленным масштабам, не развиваются в нашей химической промышленности из-за недостатка кислорода на большинстве интересующих нас заводов. В ближайшее время необходимо снабжение хотя бы одного-двух крупных сернокислотных, а также азотных заводов аппаратурой по получению жидкого кислорода. При этих установках необходимо будет соорудить ряд опытных химико-технологических агрегатов, как-то: печь для пылевидного сжигания колчедана, контактные аппараты для окисления сернистого ангидрида в серный, башенную установку для получения серной кислоты нитрозным способом, аппаратуру для получения высокопроцентного олеума и серного ангидрида, шахтную печь для возгонки фосфора и получения карбида кальция и др.

Большое внимание при этом следует уделить материалам аппаратуры и условиям безопасности работы.

Кроме того, необходимо, не откладывая, приступить к проектированию опытного сернокислотного завода на кислороде. Разумеется, параллельно с опытно-заводскими и проектно-расчётными работами, необходимо продолжать и углублять физико-химические и химико-технологические исследования в лабораторных условиях, расширяя число изучаемых объектов.

С. В. Кафтанов (Член Технического совета): Применение кислородного дутья при получении технологического газа представляет огромные преимущества. Обогащённое дутьё позволяет упростить технологию процесса и, кроме того, даёт возможность получать на одном и том же агрегате значительно больше газа.

Применение кислородного дутья в газогенераторах является ключом к интенсификации целого ряда отраслей химической промышленности. Обогащённое кислородом дутьё позволяет использовать для получения технологического газа (например водяного газа) низкосортные виды топлив. Таким образом, применение кислорода разрешит нам в ряде районов страны перейти на местное топливо. Это открывает перед нашей химической промышленностью исключительные возможности для дальнейшего развития.

Советский Союз располагает большими запасами нефти, но эти запасы в основном сосредоточены в определённых районах: на



Кавказе, в Закаспии, в Приуралье. Стоит ли в дальнейшем возить нефть и бензин, например с Кавказа в Восточную Сибирь, если последняя обеспечена громадными запасами угля и других видов топлива? В связи с получением высококачественного технологического газа при помощи кислородного дутья открывается заманчивая перспектива производства синтетического моторного топлива во всех уголках Советского Союза на базе местного сырья. Для этой цели могут быть использованы торф, горючие сланцы, низкотортные угли и т. д. Может быть, это — задача не сегодняшнего дня. Однако, если мы подумаем о будущем, а мы должны это сделать, то можно представить себе, что применение кислородного дутья в газогенераторах откроет широкие перспективы для получения во всех районах нашей страны высококачественного технологического газа и, в первую очередь, для синтетического моторного топлива.

А. Г. Касаткин подчёркивал значение кислорода для сернокислотного производства. Безусловно, кислород будет иметь в этой отрасли химической промышленности огромное значение. Не меньшую роль будет играть кислород в содовом производстве. И до войны сода являлась дефицитным продуктом, а сейчас это особенно обострилось. Применение кислорода, несомненно, позволит получать с существующих заводов значительно больше соды, причём понадобится гораздо меньший объём карбонизаторов для одной и той же мощности, ибо значительно повысится концентрация углекислого газа, подаваемого на карбонизатор.

Здесь указывалось на значение кислорода в производстве карбида кальция. Когда говорят о карбиде, думают обычно об ацетилене, применение которого имеет огромное будущее, вплоть до производства синтетического каучука. Надо переводить получение синтетического каучука на минеральное сырьё, получать его, используя ацетилен. Из ацетилена можно получать спирты, альдегиды и другие весьма ценные химические продукты. По существу говоря, многие отрасли синтетической химической промышленности можно базировать на ацетилене. Ацетилен можно получать только через карбид, других путей получения дешёвого ацетилена для технологических целей мы ещё не знаем. Поэтому вопрос применения кислорода для интенсификации производства карбида заслуживает большого и серьёзного внимания.

В. А. Флоров (Член Технического совета): На заседаниях Технического совета мы уже рассмотрели возможность использования кислорода в нескольких отраслях промышленности. Какая же из этих отраслей является в настоящее время наиболее подготовленной в смысле изученности процесса и аппаратуры к применению кислорода? Очевидно, наиболее подготовленной является химическая промышленность, в частности производство аммиака.

Недавно я был на одном из крупных химических заводов, где руководители буквально освоиться не могут с теми преимуществами, которые им дало применение кислорода, начавшееся практически только полтора-два месяца тому назад. Если в чёрной металлургии для внедрения кислорода надо ещё многое сделать, хотя бы строить специальные агрегаты, то на аммиачных заводах кроме кислородной станции почти ничего для внедрения кислорода не нужно. Приспособление существующих газогенераторов к кислородному дутью отнимет немного времени и потребует ничтожного количества материалов. Благодаря применению кислорода откроется прямая возможность получения водяного газа из местных топлив.

Производство карбида кальция, соды и многие другие отрасли химической промышленности смогут принять большое количество кислорода и обеспечат быструю отдачу очень важных и ценных продуктов. Но это пока — дело будущего. Мне кажется, что в настоящее время целесообразнее всего обеспечить кислородом промышленность синтетического аммиака. Это позволит в значительной мере увеличить производство аммиака.

Акад. П. Л. Капица: Кислород может найти широкое применение для интенсификации многочисленных отраслей химической промышленности. Если в металлургии мы говорили о применении кислорода для доменного и бессемеровского процессов, а в газификации — о двух-трёх типах газогенераторов на кислородном дутье, то в химии область применения кислорода исключительно обширна. Очень хорошо, что выступавшие сегодня товарищи освещали кислородную проблему в химической промышленности самым широким образом.

Опыт использования кислорода на одном из азотных заводов дал положительные результаты. Можно уже твёрдо говорить о непосредственном внедрении кислорода для производства технологического газа, так как технико-экономические показатели ясны. Успеш-

ное применение кислорода в аммиачном производстве является очень ярким примером. Кислород начали использовать на одном из заводов всего два месяца тому назад. Однако, это уже привлекло внимание учёных и практиков. Аналогичное явление, несомненно, будет иметь место и в других отраслях химической промышленности.

Мне кажется, что химии, в связи с использованием кислорода, предстоит перерасти рамки существующих ныне возможностей. Если развитие кислородной проблемы в химической промышленности сразу направить правильными путями, то можно будет сэкономить значительные средства и быстро двинуть вперёд развитие этой важной отрасли народного хозяйства.

Экономическая выгодность всяких процессов, в том числе и химических, определяется

экономией труда. Труд не измеряется копейками. Экономический подсчёт в трудовых часах является, на мой взгляд, единственно правильным подсчётом для оценки новых процессов, и именно такой подсчёт нам нужен. Если заменить работу двух чернорабочих работой одного инженера, то это будет нам выгодно, хотя это будет дороже. Мы можем всякого рабочего сделать инженером. Поэтому для оценки новых технологических процессов нам интересно и важно знать, сколько можно будет сэкономить трудовых часов при осуществлении этих процессов по сравнению с применяемыми сейчас. Если даже новый процесс явится более дорогим, по сравнению с существующим, в денежном выражении, но даст экономию в трудовых часах, то в ряде случаев применение этого процесса будет вполне целесообразным.

## ПРИМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДА ПРИ НИТРОЗНОМ СПОСОБЕ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ\*)

Кандидат технических наук К. М. МАЛИН

*Кандидат технических наук Константин Михайлович Малин работает в области технологии серной кислоты с 1932 г. Им проведены исследования по кинетике горения колчедана, которые явились основой осуществлённой интенсификации механических печей. Ему же принадлежат работы по кинетике кислотообразования и абсорбции в нитрозном процессе.*

*К. М. Малин написал несколько учебников по технологии производства серной кислоты и ряд статей по этому же вопросу. В настоящее время он руководит лабораторией серной кислоты в Научно-исследовательском институте удобрений и инсектофунгицидов (НИУИФ).*

### Предварительные соображения

Технологическая целесообразность применения кислорода в сернокислотном производстве основывается на принципе интенсификации процесса путём повышения концентрации реагирующих веществ. Применение кислорода при получении серной кислоты имеет особые перспективы уже потому, что

независимо от метода производства (контактный или нитрозный) имеют место две последовательные стадии использования кислорода: 1) в процессе обжига сырья, для получения сернистого газа и 2) при дальнейшем окислении сернистого ангидрида в серный ангидрид. Большой эффект применения кислорода в производстве серной кислоты заключается также в том, что при этом могут происходить не только количественные, но и

\*) Доклад на заседании Технического совета Главкислорода при СНК СССР 28 марта 1944 года.