

бенно на угле и торфе, мы встретимся с очень неблагоприятным явлением с точки зрения выхода смолы. Для отделения смолы в верхней части газогенератора, работающего на кислороде, нехватает тепла. Часть смол в результате этого попадает в зону газификации и гибнет. Разрабатывая способы использования основных местных топлив с применением кислорода, надо иметь в виду, что выход смолы будет несколько меньшим. При газификации торфа с этим можно не особенно считаться, так как смолы торфа малоценны. Необходимо также развернуть опытные работы по газификации местных топлив.

Прежде всего следует установить опытные генераторы для газификации на кислородном дутье в «кипящем» слое, с целью получения технологического или энергетического газа. Затем большой интерес будет представлять газификация фрезерного торфа и мелочи подмосковных углей под давлением. Что касается метода газификации кускового топлива, то можно было бы говорить уже о внедрении его в промышленность, так как дополнительных опытов для изучения его не требуется. Все неясные еще вопросы можно будет уточнить в процессе эксплуатации первой установки.

ГАЗИФИКАЦИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ УГЛЕЙ В «КИПЯЩЕМ» СЛОЕ НА ПАРОКИСЛОРОДНОМ ДУТЬЕ *)

Инж. Н. В. КАРХОВ

Инженер Николай Васильевич Кархов — специалист в области газификации твердых топлив. Он разработал новую конструкцию генератора для газификации мелкозернистых углей в «кипящем» слое. Это будет первый советский газогенератор непрерывного действия, работающий на кислородном дутье. В ближайшее время этот газогенератор будет пущен в эксплуатацию на одном из химических заводов.

Основные явления газификации мелкозернистого топлива в так называемом «кипящем» слое впервые наблюдались в 1921 г. Ф. Винклером в Германии. Разработанный затем на этом принципе газогенератор стал известен под названием генератора Винклера.

Способ газификации по Винклеру состоит в том, что газовый поток пропускается в газогенераторе снизу вверх через слой мелкозернистого топлива. При этом топливо приходит в интенсивное движение, напоминая кипение жидкости. Отсюда и возникло название — газификация в «кипящем» слое.

Как сообщил Гримм [1] в 1931 г. на Питсбургской конференции по битуминозным углям, концерн И. Г. Фарбениндустри, владеющий патентами по газогенератору Винклера, осуществил в период 1922—1931 гг. большие исследовательские работы, завершившиеся строительством на заводах в Оплау и

Лейна опытных и промышленных газогенераторов значительной мощности.

Вначале газогенераторы Винклера предназначались для производства силового газа для газомоторов, а также водяного газа при периодическом процессе, т. е. только на обычном паровоздушном дутье. Исходным топливом служил буроугольный кокс и германский бурый уголь.

Совершенствование способов производства кислорода, вызвавшее значительное его удешевление, послужило стимулом к применению в газогенераторах Винклера кислородного дутья. Применение кислорода позволило осуществить непрерывность процесса производства технологического газа, пригодного для синтеза аммиака и других химических продуктов.

По сообщению Бота [2] применение кислорода сделало метод газификации в «кипящем» слое наиболее совершенным и уже в 1931 г. на заводе в Лейна работали на кислородном дутье газогенераторы производитель-

*) Доклад на заседании Технического совета Главкислорода при СНК СССР 12 октября 1943 г.

ностью 75 000—100 000 м³ газа в час. На рис. 1 показан общий вид такого газогенератора.

Здесь необходимо отметить, что конструкция газогенератора по разным источникам [1, 3, 4] даётся в нескольких вариантах. Однако, наиболее важные сведения о конструкции газогенератора и самом процессе держатся фирмой в секрете. Опубликованные материалы носят самый общий характер и при этом нередко содержат заведомо неправильные данные. Например, в появившейся в 1940 г. статье Мау [5], наряду с некоторыми дополнительными сведениями о составе топлива, газа и расходных коэффициентах, указано, что «топливо подаётся шнеком периодически». Однако, такая подача топлива совершенно противоречит существу процесса и приводит к отрицательным результатам. Такого же характера «указания» опубликованы о способе удаления золы и о некоторых других важных сторонах процесса.

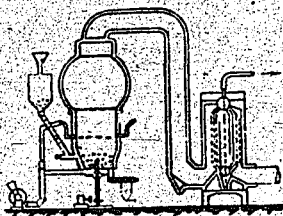


Рис. 1. Общий вид газогенератора Ванклера.

Изучение процесса газификации в «кипящем» слое в СССР и разработка конструкции газогенератора Государственного института азота

Цели и организация опытных работ: Возможность газификации мелкозернистых битуминозных топлив с получением газа для технологических целей, а также возможность создания агрегатов большой производительности сделали процесс газификации в «кипящем» слое весьма интересным для советской химической промышленности и, в частности, для промышленности синтеза аммиака.

Лаборатория газификации Института азота начала заниматься изучением способа газификации в «кипящем» слое ещё в 1934 г. Имевшиеся в то время литературные сведения были совершенно недостаточны для того, чтобы осуществить способ газификации без всестороннего изучения всех явлений, определяющих существо процесса, без детальной проектной и экспериментальной разработки конструкции аппарата и главнейших его узлов.

Изучая процесс в целом, нам пришлось исследовать различные области проблемы, в том числе аэродинамические, химические, теп-

лотехнические и конструктивные вопросы. Положительные результаты наших первых лабораторных исследований на модельных установках позволили уже в 1934—1935 гг. перейти к осуществлению процесса газификации в полувальном масштабе. Для этой цели был создан опытный газогенератор ГИА производительностью в 2 000—3 000 м³ газа в час. В указанном газогенераторе вначале были проведены испытания на подмосковном угле, а затем на ряде других битуминозных углей (сулуктинских, тквибульских и т. д.).

Вместе с тем не прекращалось исследование отдельных деталей проблемы в лабораторных условиях. Сюда относились вопросы аэродинамики, влияния свойств топлива и другие.

Одновременно с опытными работами развернулось проектирование промышленного аппарата. Конечной целью всех этих исследовательских и проектных работ было создание конструкции газогенератора и разработка непрерывного процесса производства технологического газа для синтеза аммиака. Все основные испытания производились при этом на дутье, обогащённом кислородом.

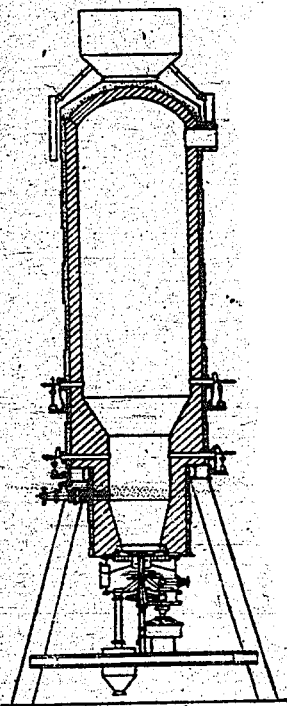


Рис. 2. Общий вид опытного газогенератора Государственного института азота.

Краткое описание конструкции газогенератора

Газогенератор ГИА (рис. 2) представляет собой шахту с развитым объёмом верхней части. Нижняя часть шахты выполнена в виде усечённого конуса с обращённым вниз меньшим основанием. Верхняя расширенная часть шахты — цилиндрическая, имеет назначение газифицировать пылевидные фракции топлива.

Шахта футерована огнеупорным шамотным кирпичом. В нижней части шахты находится колосниковая решётка с золоудалющим механизмом непрерывного действия, дутьевой камерой и зольным бункером.

Мелкозернистое топливо подается в нижнюю часть шахты газогенератора из бункера с помощью трёх шнеков, которые установлены на высоте около 1,4 м от колосниковой решётки.

Основная часть воздушного дутья вместе с паром поступает непрерывно под колосниковую решётку. Для подачи сухого дутья установлена воздуходувка. Пар подается собственным давлением. Часть сухого дутья подается под «кипящий» слой топлива. Остальная часть сухого дутья, называемого вторичным, подается в шахту газогенератора через фурмы, установленные по окружности шахты на высоте 2,5—4 м от решётки, т. е. *поверх* слоя топлива.

Генераторный газ, имеющий температуру 1000—1100° Ц, отводится из газогенератора через футерованный газопровод, примыкающий к верхней части шахты, в систему охлаждения и очистки его от пыли.

Описание процесса газификации в «кипящем» слое

Для газификации применяется топливо с диаметром зёрен до 10 мм. Топливо подается в зону газификации равномерным и непрерывным потоком с помощью шнеков. Под воздействием дутья, проходящего через слой расположенного на решётке топлива, последнее приходит в интенсивное движение, напоминающее кипение жидкости. Для достижения состояния «кипения» слоя требуется применение высоких скоростей дутья (порядка 2—3 м/сек, считая на полное сечение шахты при температуре 0° Ц). Сочетание высоких напряжений дутья и сильно развитой поверхности мелкозернистого топлива делает процесс газообразования в «кипящем» слое весьма интенсивным.

Газифицируемый слой топлива на решётке имеет высоту в спокойном состоянии от 0,3 до 1,5 м. Топливо, попадая на поверхность интенсивно бурлящего слоя, быстро в нём «растекается» — перемешивается.

В «кипящем» слое отсутствуют обычные для процесса газификации кускового топлива зоны подсушки, швелования и коксования. Все эти процессы пространственно совмещены. Каждая частица свежего топлива попадает

сразу в среду раскалённой подвижной шихты, где быстро проходит все стадии подготовки. В этих условиях подготовка топлива происходит в значительной мере за счёт прямого использования тепла реакции горения. Поэтому высокая влажность топлива вредно отражается на процессе. В случае, если топливо имеет влажность, превышающую 10—15%, его необходимо предварительно подсушивать в специальной сушильной установке.

Непосредственная подготовка топлива в «кипящем» слое и наличие в газогенераторе температур не ниже 850—900° Ц приводят к быстрому и полному крекингу выделяющихся летучих веществ. В результате, газ не содержит смол и тяжёлых углеводородов, при отсутствии или ничтожном содержании метана. Основными составляющими газа являются: угольный ангидрид, окись углерода, водород и азот.

Высокие скорости газового потока в слое вызывают вынос из него пылевидной части топлива. Газификация этой пыли осуществляется во взвешенном состоянии за счёт подаваемого над слоем через фурмы вторичного дутья. Так как газификация пыли протекает со сравнительно малой интенсивностью, то для достижения желаемого эффекта шахта газогенератора имеет в верхней части увеличенное сечение и большой свободный объём, обеспечивающий значительное время пребывания газа в генераторе, равное 7—10 сек. В зависимости от свойств топлива и его сытового состава вторичное дутьё подается в размерах от 20 до 40% от общего количества дутья.

В результате воздействия вторичного дутья опасность больших потерь топлива в виде пыли с газовым потоком устраняется.

Влияние конструкции колосниковой решётки и золоудалющего механизма на процесс газификации

Изучение процесса газификации в «кипящем» слое показало, что равномерное «кипение» слоя, обеспечивающее хорошее перемешивание всей шихты и быстрое распределение в ней вновь поступающего свежего топлива, гарантирует достижение постоянства температур во всём объёме слоя, а следовательно, и устойчивый ход процесса. Достижение этих условий обеспечивается, прежде всего, правильной конструкцией колосниковой решётки и золоудалющего механизма. Таким образом,

последние являются главнейшими и решающими узлами газогенератора, создающими аэродинамику слоя и определяющими весь ход процесса газификации и его показатели.

Остальные части газогенератора служат либо объёмом, в котором протекает процесс газификации (шахта газогенератора), либо только транспортными органами (подача топлива, дутья и т. п.).

Разработка конструкции решётки и золоудаляющего механизма потребовала длительного экспериментирования. Испытания конструкции с мешалкой, вращающейся на решётке (рис. 1), показали совершенно неудовлетворительные результаты. При работе газогенератора с таким золоудаляющим механизмом наблюдалось систематическое зашлаковывание решётки.

Из ряда других испытанных вариантов конструкция, предложенная автором этой статьи, оказалась отвечающей существу процесса и позволила успешно завершить опытные работы и предложить газогенератор «кипящего» слоя к внедрению в промышленность.

Предложенная нами конструкция газогенератора создаёт в слое топлива необходимые аэродинамические условия и равномерный температурный режим, обеспечивающие получение золы в сыпучем, неоплавленном виде.

Большая часть золы (до 70—75%) удаляется из генератора в виде пыли, уносимой с газом. Образование такой летучей золы происходит частично за счёт пылевидных фракций исходного топлива, а главным образом за счёт истирания озоленных с поверхности частиц угля, при их интенсивном движении в слое.

Минеральная часть топлива лимитирует повышение температурного режима процесса. При температуре в слое или в шахте, превышающей 900—1100° Ц, наблюдается размягчение легкоплавких компонентов золы. Это ведёт к образованию шлака в слое и к опасному налипанию легучего шлака на футеровку газогенератора.

Некоторые показатели процесса газификации угля в опытном газогенераторе ГИА

Для характеристики процесса газификации угля в «кипящем» слое ниже приводятся некоторые результаты по газификации сулюктинских углей на дутье, обогащённом кисло-

родом. Нашей задачей было, главным образом, получение газа для синтеза аммиака с соотношением $(CO + H_2) : N_2$, равным приблизительно 3,2—3,3.

Для получения такого газа необходимо было применять дутьё с концентрацией кислорода, превышающей 50%. Однако, в зависимости от наличия кислорода, работа производилась и с другими концентрациями кислорода в дутье.

Газификация сулюктинского угля характеризовалась следующими показателями:

1. Состав угля в подсушенном виде (в %):

W	A	C	H ₂	S	N ₂	O ₂	V
10,0	9,09	62,7	3,22	0,47	0,62	13,9	31,2

2. Теплотворная способность угля $Q_n^p = 5460$ ккал/кг.

3. Крупность топлива, применяемого для газификации, 0—10 мм.

4. Состав дутья в процентах (по объёму):

а) сухое дутьё: O ₂	53—55
N ₂	45—47
б) влажное дутьё: O ₂	23—24
N ₂	19—20
H ₂ O (пар)	56—58

5. Напряжение первичного влажного дутья 2000—3000 м³/м³/час.

6. Вторичное дутьё (по отношению к общему) — 33—35%.

7. Состав газа в процентах (по объёму):

CO ₂	C _m H _n	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	H ₂ S
17,6	0,0	0,0	34,0	29,2	0,0	19,1	0,1

8. Теплотворная способность газа (низшая) Q_n около 1800 ккал/м³.

9. Выход газа на тонну подсушенного угля — 1900—2100 м³.

10. Коэффициент газификации по нижшему пределу (отношение потенциального тепла газа к потенциальному теплу угля) — 65—70%.

11. Тепловой КПД газогенераторной установки при утилизации физического тепла газа в паровом котле и использовании уноса — 85—88%.

Некоторые расходные показатели газогенератора, отнесенные к 1000 м³ газа, сведены в табл. 1.

Таблица 1
Расходные показатели газогенератора ГИА

Наименование	Единицы	На 1000 м ³ газа	
		расход	приход
Уголь подсушенный (влажность около 10%)	т	0,47—0,5	—
То же в пересчёте на рабочую влажность, равную 22%	»	0,55—0,58	—
Кислород технический (98%-ый)	м ³	180—190	—
Воздух для (дутья)	»	230	—
Пар	кг	280—300	—
Пар за счёт утилизации тепла газа	»	—	500—550

На рис. 3 приведен график среднесменных показателей процесса за десятисуточный период работы газогенератора. Этот график наглядно показывает устойчивость процесса газификации в «кипящем» слое,

особенно в части температурного режима.

Состав газа целиком зависит от концентрации кислорода в сухом дутье и от температурного режима. Изменение концентрации кислорода в дутье, как правило, вызывает соответствующее отклонение в содержании CO + H₂ в газе.

Применяя дутьё с различной концентрацией кислорода, можно получать газ с любым содержанием суммы горючих составляющих CO + H₂.

С повышением содержания кислорода в дутье количество азота, являющегося балластом в газе, резко снижается. В табл. 2, а также более наглядно на рис. 4 дана зависимость состава и теплотворной способности газа от концентрации кислорода в дутье в пределах от 21 до 54%.

Необходимо отметить, что в то время, как с повышением содержания кислорода в дутье количество CO и H₂ в газе и его теплотворная способность показывают закономерный рост, процентное содержание углекислоты в газе растёт только до определённой величины. После этого концентрация углекислоты заметно не меняется и зависит, главным образом, от температуры в слое и от концентрации пара в дутье.

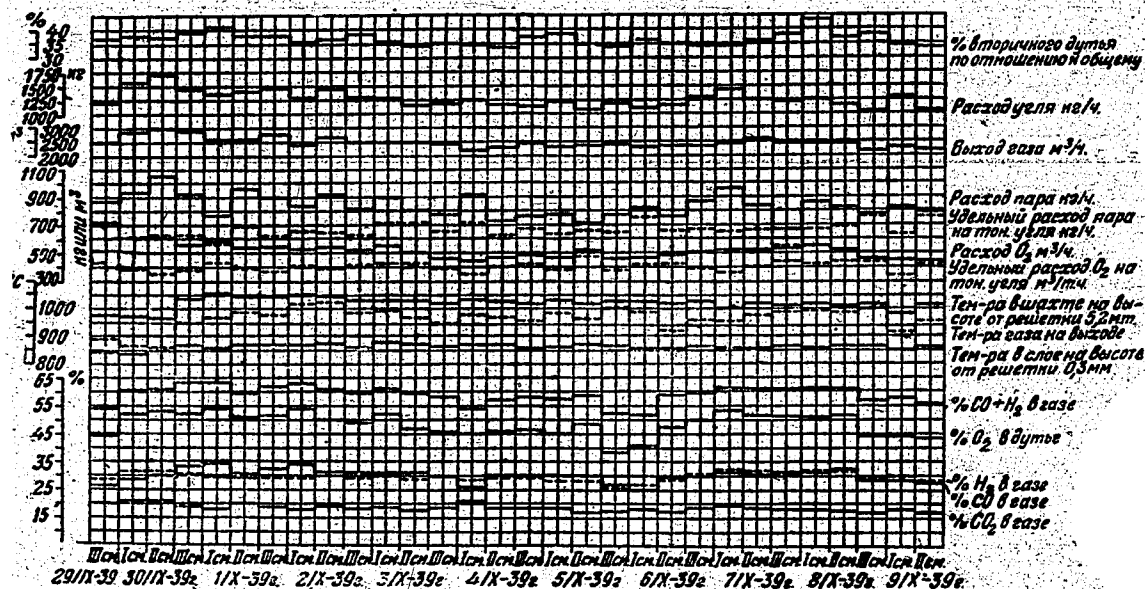


Рис. 3. Показатели работы опытного газогенератора Института азота за десятисуточный период эксплуатации (с 29 сентября по 9 октября 1939 г.).

Таблица 2

Состав и теплотворная способность газа в зависимости от концентрации кислорода в сухом дутье

Содержание кислорода в дутье в % (по объёму)	21,0	24,0	28,5	32,0	34,0	38,2	40,5	43,0	45,1	47,0	50,5	52,2	54,0
Состав газа: CO ₂	12,0	14,5	16,5	14,4	16,6	17,4	18,3	17,9	18,0	17,6	18,3	18,5	17,6
CO	16,0	16,0	22,2	24,8	23,0	26,5	25,2	27,6	29,1	29,5	30,6	31,4	34,1
H ₂	19,4	19,4	20,9	21,6	22,8	25,6	26,7	27,9	28,6	29,2	30,8	30,2	29,2
CH ₄	0,5	0,5	0,6	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N ₂	57,5	49,5	39,8	39,0	37,0	30,5	29,8	26,6	24,4	23,7	20,3	19,9	19,1
Теплотворная способность газа (нижняя в ккал/м ³)	890	1029	1263	1326	1337	1463	1452	1556	1620	1650	1722	1730	1786
Температура в слое (в °С)	—	—	—	—	—	870	860	865	865	870	865	875	860
— в шахте	—	—	—	—	—	1025	1025	1010	1030	1020	1015	1030	1055
— на выходе	—	—	—	—	—	1600	1020	955	985	925	995	970	970
Удельный расход 98% -ного кислорода (в м ³ /м ³ газа) (CO+H ₂) (м ³ /м ³)	—	—	—	0,085	—	0,110	0,126	0,131	0,140	0,149	0,167	0,167	0,177
	—	—	—	—	—	0,21	0,24	0,236	0,242	0,254	0,272	0,271	0,277

Оценка способа газификации в «кипящем» слое

1. Газификация мелкозернистого топлива газогенераторе с «кипящим» слоем на дутье

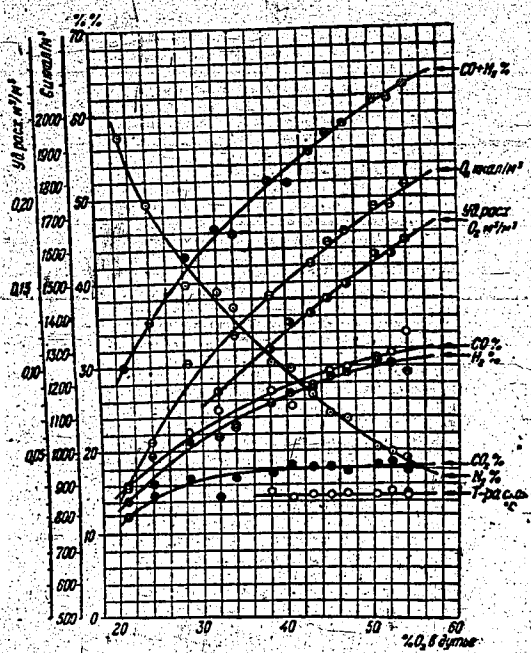


Рис. 4. Зависимость состава и теплотворной способности газа от содержания кислорода в дутье.

тве, обогащённом кислородом, представляет большие преимущества по сравнению с

обычными методами газификации кускового топлива.

2. Применение дешёвого, мелкозернистого, низкосортного и битуминозного топлива различных месторождений для производства технологического газа значительно расширяет сырьевую базу синтетической химии.

Для газификации в «кипящем» слое наиболее подходящими являются геологически молодые, активные виды топлива (бурые и аналогичные им по свойствам угли, например, подмосковный уголь). Именно эти угли до настоящего времени были или совсем непригодны для газификации их на водяной газ, или газифицировались с большими трудностями.

3. Применение кислородного дутья делает описанный способ газификации наиболее совершенным, так как позволяет осуществить производство газа для синтеза непрерывным процессом. В сравнении с периодичным способом производства водяного газа из кокса; или тем более из битуминозных углей, этот метод отличается простотой схемы и большей надёжностью действия аппаратуры.

4. Переработка мелкозернистого материала при непрерывности процесса позволяет наиболее просто осуществить полную автоматизацию работы агрегата, аналогично автоматизации действия пылеугольных топок.

5. Применение дутья с различной концентрацией кислорода позволяет получать газ с различным содержанием CO и H₂ и с различной теплотворной способностью до 2200—2300 ккал/м³ (при чистом парокислородном дутье).

6. Коэффициент полезного действия описанного газогенератора на 15—20% превышает кпд генераторов водяного газа.

7. Большим преимуществом предлагаемого метода является возможность создания агрегатов любой практически целесообразной мощности. Это особенно важно для объектов с большим потреблением газа.

Из недостатков способа газификации в «кипящем» слое следует отметить:

1. Необходимость подсушки угля в специальной установке, если влажность его превышает 10—15%. Применение угля с повышенной влажностью вызывает увеличенный расход кислорода и является нерентабельным.

2. Получаемый газ имеет повышенную зольность, что требует создания сравнительно сложной системы очистки.

Заключение

Изучение способа газификации в «кипящем» слое, законченное несколько лет назад созданием конструкции газогенератора ГИА, позволило приступить к промышленному внедрению этого метода в СССР. Газогенератор ГИА имеет перспективу широкого применения не только в химической промышленности (для производства технологического газа), но также и для энергетики, где требуются очень большие количества горючего газа.

Описываемый метод газификации позволяет создавать агрегаты, превышающие в несколько раз возможности всех других известных способов. Распространение этого метода будет зависеть, главным образом, от разрешения проблемы производства дешёвого кислорода в больших количествах. Однако показатели современных кислородных установок уже таковы, что во многих случаях вполне рентабельно применять кислород для производства технологического газа из низкосортных топлив по этому методу. В азотной промышленности, например, осуществляется строительство газогенераторов производительностью в 15—20 тыс. м³ газа в час, с использованием отбросного кислорода. В этих условиях экономика оказывается наиболее благоприятной.

В случае производства энергетического газа экономика складывается менее выгодно. Видно, сравнительно высокая стоимость кислородных установок и высокие расходные коэффициенты электроэнергии не покрываются пока что выгодами, которые даёт газификация на кислородном дутье. Однако, о

рентабельности применения газа и производства его на кислородном дутье необходимо судить в каждом конкретном случае отдельно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Proc. of the III Conf. on Bitum. Coal*, vol. 1, 874.
2. *Chem. Fabrik*, 1934, № 1/2, S. 1.
3. *Génie civil*, 1936, № 5, p. 103.
4. Дольж П., Водяной газ, изд. 1938 г., стр. 216.
5. *Химическая техника*, 1940 г., № 1, специальный выпуск журнала *Германская техника*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Инж. А. Ф. Иванов: Методы получения технологического газа для органического и неорганического синтезов разработаны, главным образом, в Германии, вынужденной силой обстоятельств ориентироваться на использование углей — с целью получения из них того, чего нет в её недрах и, прежде всего, для удовлетворения своих потребностей в жидком топливе. В результате многолетних усилий в Германии разработана довольно большая гамма методов газификации твёрдых топлив на технологический газ для различного рода синтезов.

Наибольшее распространение в Германии получил метод Винклера. Он был реализован на предприятиях концерна И. Г. Фарбениндустри. На заводе в Лейна, имеющем мощность около 800 тыс. т азота в год, работали в 1937 г. 4 газогенератора производительностью в 80 000 м³/час. По сообщению Везера, осведомлённого в вопросах химической промышленности, на этом заводе имела кислородная станция, состоящая из пяти агрегатов на 12 000 м³ кислорода в час. Следовательно, кислородная станция завода была в состоянии обеспечить работу на кислородном дутье лишь одного генератора. Остальные генераторы работали в то время на воздушном дутье. На воздушном же дутье, повидимому, работали генераторы и в Оппау.

Экономика получения технологического газа с применением кислородного дутья складывается следующим образом. Стоимость генераторного отделения по методу газификации кокса и стоимость генераторного отделения, где генераторы работают с применением кислородного дутья, примерно, одинаковы по капитальным затратам; но при учёте стоимости кислородной станции сумма капитальных затрат в последнем случае удваивается.

Если сравнить стоимости производства 1 000 м³ технологического газа методами: 1) газификации кокса в генераторах перио-

дического действия, 2) переработки бурых углей в печах с внешним обогревом (метод Бубиаг-Дидье), 3) газификация бурого угля в генераторах Винклера, то наиболее низким уровнем стоимости 1000 м³ газа отличается метод Бубиаг-Дидье, наиболее высоким — газификация кокса; метод Винклера занимает промежуточное положение. Если же сравнивать только суммы производственных расходов (т. е. без стоимости сырья), то наименее благоприятным показателем отличается метод Винклера — за счёт затрат по кислородной станции.

Стоимость производства 1000 м³ газа (в германских марках)

	Газификация кокса	Метод Бубиаг-Дидье	Метод Винклера
Производственные расходы (без стоимости сырья)	7,43	9,10	11,15
Стоимость сырья	13,61	6,18	7,71
Итого	21,04	15,28	18,86

Это обстоятельство задерживало распространение метода Винклера с применением кислородного дутья и стимулировало разработку других методов, не требующих кислорода. За последнее время в германской промышленности появился ряд методов газификации без применения кислородного дутья. Даже концерн И. Г. Фарбениндустри, как уже было сказано, не пошёл на широкое применение кислородного дутья в генераторах Винклера.

Наряду с этим, в Германии был недавно разработан и, очевидно, в настоящее время внедряется в промышленную практику другой метод с применением кислородного дутья при газификации — метод Тиссена-Галюкши в генераторе с жидким шлакоудалением. Этот метод был испытан на заводе Тиссена на агрегате, перерабатывавшем в сутки 2 т угля. Несколько лет тому назад на венгерском азотном заводе в Петфюрдо было реализован 10-тонный агрегат. Есть сведения, что в Германии в последнее время строился агрегат, производительностью в 33 000 м³ газа в сутки, причём предполагалось проводить в агрегате одновременно плавку металла (60 т чугуна в сутки). Этот метод, по отзывам иностранной печати, характеризуется несколько лучшими показателями, чем метод Винклера.

Характерно, что производительность целых установок, работающих по другим методам, равняется производительности только 1—2 газогенераторов Винклера. Последние, как указано, достигают производительности 80 000—100 000 м³/час. Крупная же промышленная установка Бубиаг-Дидье (2 блока по 40 печей в каждом) даёт около 40 000 м³/час.

В связи с вопросом о газификации углей интересно упомянуть о новой идее, которая появилась среди промышленников Германии. Перед началом войны, в 1939 г. дискутировалась идея об облагораживании топлив. Для газогенераторных установок, которые используют уголь для получения технологического газа, по этой идее можно было бы получать уголь с зольностью от 1 до 3%, газификацию которого можно осуществить без особых затруднений. Все остальные отходы от обогащения углей должны были найти себе применение в народном хозяйстве. Авторы этой идеи считали, что техническая мысль Германии подготовлена к решению этой трудной проблемы. Однако, никаких более конкретных данных по этому вопросу в литературе нет.

Экономическую оценку метода газификации с применением кислородного дутья в генераторе ГИА можно дать путём сопоставления с другими методами, нашедшими себе применение в азотной промышленности: а) методом газификации кокса в генераторе периодического действия и б) методом глубокого охлаждения коксового газа.

При сравнении капитальных затрат нельзя ограничиваться только пределами азотного завода, но необходимо учитывать, что каждый из этих методов предъявляет к народному хозяйству свои требования в отношении сырья, энергетики и пр., в связи с чем меняется общий уровень капитальных затрат, связанных с промышленным осуществлением каждого из этих методов.

Произведённые Гипрозотом сравнительные расчёты капитальных затрат на 1 т аммиака применительно к условиям Донбасса привели к следующим результатам. Если принять за 100% производство аммиака методом глубокого охлаждения коксового газа, то метод газификации кокса выразится цифрой 111,5%, а метод газификации угля — 128%.

Примерно таковы же показатели сравниваемых методов производства и по металлозатратам. Метод с кислородным дутьём характеризуется повышенным уровнем затрат металла по сравнению с методом газификации кокса.

Себестоимость 1 т аммиака по всем этим трём методам примерно равна; методы глубокого охлаждения и газификации с кислородным дутьём имеют более низкую себестоимость по сравнению с методом газификации кокса.

Приведённые расчёты были сделаны применительно к Донбассу. Поэтому метод газификации угля оказался в сравнительно неблагоприятных условиях, поскольку кокс и коксовый газ в этом примере являются также местным сырьём. Если бы был необходим транспорт кокса или коксового газа к месту получения аммиака, то оба эти варианта имели бы ухудшенные показатели по сравнению с методом газификации угля с кислородным дутьём. Иными словами, последний может быть реализован с лучшими экономическими показателями в тех районах, где нет месторождений коксующегося угля или не производится выжиг кокса.

Таким образом, если бы метод газификации угля с применением кислородного дутья мог быть реализован в промышленных масштабах, то в азотной промышленности его можно было бы использовать в тех пунктах, где отсутствуют такие виды сырья, как кокс или коксовый газ.

Очень ярко необходимость наличия в распоряжении азотной промышленности такого метода была подчеркнута событиями войны, когда Сталиногорский завод был отрезан от донецкого кокса, и кокс подвозился из Кузбасса на расстоянии 3 500 км. В этих условиях метод получения водорода из кокса не имел бы тех показателей по себестоимости, о которых говорилось выше. Любой вариант использования угля местного происхождения вместо дальнепривозного кокса с точки зрения денежного выражения имел бы более благоприятные показатели, даже при высокой стоимости кислорода.

Тем не менее, необходимо работать в направлении улучшения экономики метода газификации кокса с кислородным дутьём (снижение энергетических затрат, уменьшение капиталовложения в кислородную установку и др.), чтобы создать предпосылки для широкого внедрения метода в промышленную практику.

Проф. К. Ф. Павлов: Существуют различные методы газификации подмосковных углей. Однако, ещё несколько лет тому назад все они представлялись неопределёнными и неисвоенными технически. Нельзя не отметить, что работы Государственного института азота в 1937 и последующих годах в боль-

шой степени способствовали освоению метода Винклера — правда, к сожалению, только для получения технологического газа. В производстве по этому методу энергетического газа остаётся много невыясненных моментов, в частности, вопрос об утилизации смол. Теоретически можно считать, что использование смол возможно и выгодно. Подсчитано, например, что если стоимость 1 000 ккал газа из подмосковных углей, полученного методом «кипящего» слоя, составляет без учёта смол 2,6 коп., то с использованием смол мы будем иметь снижение стоимости того же газа до 2,2 коп. Таким образом, если нам удастся решить задачу утилизации смол при газификации в «кипящем» слое, — а это вполне возможно, — то при получении энергетического газа на кислороде нам удастся снизить его стоимость до 2,2 коп. за 1 000 ккал. Если добавить сюда стоимость доставки этого газа, равную 0,4 коп., то можно считать, что газ, поступающий, например, в Москву по трубопроводу, будет стоить не более 2,6 коп. за 1 000 ккал.

При газификации по методу «кипящего» слоя около 60% всех расходов энергии падает на кислород, однако, в абсолютных цифрах эти расходы невелики. Утверждение, что применение этого метода тормозится недостатком кислорода, преувеличено.

Я смотрю на внедрение метода газификации в «кипящем» слое оптимистически и считаю, что при сочетании этого метода с кислородным дутьём удастся получить газ стоимостью порядка 3 коп. за м³, — во всяком случае не выше 6 коп. — в то время, как газ, используемый сейчас, обходится в 10,6 коп. за м³. Вообще говоря, каждый кубический метр газа, доставленный в Москву и здесь сожжённый, соответствует 3 квтч электроэнергии и только, если 1 м³ газа будет стоить 21 коп., от него придётся отказаться.

Инж. Л. Г. Гольнкер: Газогенераторы системы Винклера предназначены для получения технологического газа; при этом уничтожаются смолы и метан. Однако, по этому методу можно получить и энергетический газ, доведя его теплотворную способность до 2 500—3 000 ккал/м³. Генератор Винклера обладает огромной производительностью по сравнению с другими системами. Они позволяют использовать для газификации местные виды топлива. Кроме того следует отметить, что газификация в «кипящем» слое — наиболее освоенный в СССР метод газификации мелкозернистых топлив. Генера-

тор ГИА испытан в промышленном масштабе, он может газифицировать 30—40 т топлива в сутки. Получаемый при этом газ бесспорно пригоден для переработки в аммиак и жидкое горючее. Поэтому описываемый метод газификации следует рекомендовать для применения в широком масштабе. С экономической точки зрения он оказывается не слишком дорогим.

Получение кислорода для газификации топлива по методу Винклера потребует больших затрат энергии. Рентабельность всего процесса в целом можно определить путём детальных подсчётов, данные для которых уже имеются. Расчёты, произведённые мною, показывают, что при затратах электроэнергии на 1 м³ кислорода, равных 0,4 квтч, и капитальных затратах на кислородные установки, равных 500—600 рублей на м³ в час, а также при получении газа без смол и метана, экономика процесса складывается невыгодно. При снижении капитальных затрат на установку и при получении по методу Винклера метана и смол экономические показатели значительно улучшатся.

Акад. П. Л. Капица: Очень жаль, что опытный газогенератор ГИА, о котором здесь сообщалось, эксплуатировался очень корот-

кое время и недостаточно полно. Интересно было бы иметь более широкие и твёрдые данные о процессе. Следует просить Наркомат химической промышленности СССР провести испытание работы генератора на чистом кислороде и проверить возможность газификации в нём торфа.

Здесь высказывались противоречивые взгляды относительно экономики процесса. Мне кажется, что целесообразно в первую очередь получить все технические показатели, а экономические вопросы оставить пока в стороне. Нужно прямо сказать, что в ряде случаев метод газификации в «кипящем» слое оправдает себя, даже если он будет стоить дороже, чем применяемые сейчас процессы. Именно условия нашей страны разрешают нам стремиться к рациональному производству. Здравый смысл и техническое чутьё могут нам подсказать правильный путь в этом направлении. Не следует преувеличивать значения экономических расчётов, — есть другие факторы, которые в нашей стране определяют значимость того или иного процесса. Нужно развивать различные методы газификации топлива. Чем больше разнообразных способов производства газа будет в нашем распоряжении, тем более гибким станет наше хозяйство.

ГАЗИФИКАЦИЯ КУСКОВОГО ПОДМОСКОВНОГО УГЛЯ НА ПАРОКИСЛОРОДНОМ ДУТЬЕ*)

Инж. Г. Н. ПОЛУБОЯРИНОВ

Инженер Георгий Николаевич Полубояринов в 1924 г. окончил Московское Высшее техническое училище по факультету технологии топлива. Он работал по конструированию и наладке газогенераторных установок в Стальпрокте, Гипроазоте, Газогенераторстрое и других организациях. Руководил опытными работами по газификации подмосковного угля на парокислородном дутье в 1933 г., а также специальной группой в Гипроазоте по разработке и освоению процесса газификации углей в «кипящем» слое на дутье, обогащённом кислородом (с 1935 по 1941 г.).

Данные экспериментальных работ по замене воздуха при газификации подмосковного угля кислородом с целью получения газа, пригодного для синтеза аммиака, спир-

тов и жидкого топлива представляют бесспорный интерес для освещения задач кислородной газификации.

Приведённые в промышленном масштабе опыты дали результаты, позволяющие считать процесс газификации на парокислородном дутье освоенным в степени, достаточной для

*) Доклад на заседании Технического совета Главкислорода при СНК СССР 19 октября 1943 г.