

талы. Но мы находимся в стране, которая ещё только создаёт свою металлургическую промышленность. Поэтому к постановке опытов мы можем подойти иначе, мы можем рисковать капиталовложениями гораздо смелее, чем отдельные капиталистические фирмы, поэтому мы имеем возможность вести эксперименты в больших масштабах. Здесь есть известный риск, но если мы откажемся от него, то потеряем время и не сумеем внедрить идею применения кислородного дутья в металлургическую промышленность. Сугубая осторожность, отсутствие некоторой смелости могут очень тяжело сказаться потом. Надо бояться того, что мы будем развивать нашу промышленность по старому пути: за 2—3 года мы настроим много домен старого типа, и тогда переходить на кислородное дутьё будет труднее.

Инж. С. В. Кафтано в: Вопрос о применении кислородного дутья в чёрной металлургии должен решить доменный процесс. Во-

просы комбинированного, комплексного использования кислорода в металлургии также связаны с процессом, происходящим в домах. Нам нужно обдумать и в ближайшее время составить предложения по восстановлению и продолжению опытов по применению кислорода при доменной плавке. Может быть, целесообразно перенести эти опыты на новую дому, скажем, на Урале, специально оборудовав её. Пока же мы не получим конкретных данных об изменениях в доменном процессе, связанных с применением кислорода, вопрос о выгодах этого метода мы решить не можем. Точно так же в деле комплексного использования кислорода, т. е. передачи колошникового газа в мартеновскую печь, а коксового газа — химической промышленности, мы должны твердо знать, какой газ мы получим в доменной печи. Желательно поставить эти опыты на практические рельсы, чтобы наметить пути внедрения кислорода в металлургическое производство.

## ОПЫТ И ПРАКТИКА

### ОПЫТ ПОСТРОЙКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРВОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КИСЛОРОДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОМЕННОГО ДУТЬЯ НА ДНЕПРОПЕТРОВСКОМ ЗАВОДЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (ДЗМО)

Инж. Д. Л. ГЛИЗМАНЕНКО

*Инженер Дмитрий Львович Глизманенко 14 лет работал в автогенной промышленности. В настоящее время он является заместителем Главного инженера Главкислорода при СНК СССР. Он написал книгу «Производство кислорода», изданную в 1941 г., а также ряд брошюр и статей по автогенному делу.*

Проблема работы доменных печей на дутье, обогащённом кислородом, была поставлена в технике ещё в 1913 г., когда впервые в г. Угре (Бельгия) были проведены опытные плавки чугуна на кислородном дутье, давшие положительные результаты. Однако, промышленная реализация этого метода в течение почти двух десятков лет не могла быть осу-

ществлена потому, что машиностроительная промышленность не была достаточно подготовлена для освоения производства тех мощных и экономичных кислородных установок, которые необходимы для работы доменных печей на обогащённом кислородом дутье. Производительность освоенных в то время кислородных агрегатов не превышала

500 м<sup>3</sup>/час, в то время как для домы, объемом 1300 м<sup>3</sup>, необходимо иметь до 18—20 тыс. м<sup>3</sup> кислорода в час. Неоднократные попытки и опыты в области внедрения кислородного дутья в доменное производство, которые предпринимались за границей в последние годы, по ряду причин технического и экономического характера так и не вышли из стадии экспериментов.

Между тем, эта чрезвычайно интересная техническая проблема при успешном её разрешении открывает огромные возможности не только в области интенсификации доменного процесса, увеличении выплавки передельного чугуна и ферросплавов, снижении их себестоимости, но и вообще позволяет поставить вопрос о коренном изменении всего комплекса металлургических процессов и значительном снижении капиталовложений при строительстве заводов чёрной металлургии. Решениями XVIII съезда ВКП(б) было отмечено крупнейшее народнохозяйственное значение проблемы внедрения кислорода в металлургию, и перед промышленностью была поставлена задача освоения работы домен на кислородном дутье в промышленных масштабах.

Вопросы плавки чугуна в доменных печах на кислородном дутье начали широко дебатироваться в технических кругах промышленности Советского Союза в 1931—1933 гг. В этот период в Институте азота была построена опытная установка для непосредственного получения обогащённого кислородом до 42% воздуха, производительностью 600 м<sup>3</sup>/час. Были проведены также плавки с кислородным дутьём на опытной доме Чернореченского химического завода. В процессе работы опытной домы был получен ряд показателей, давших некоторый материал для дальнейшего развития опытных работ в последующие годы.

В 1933 г. Наркомтяжпромом было принято решение о постройке на ДЗМО первой промышленной установки для получения обогащённого кислородом воздуха для доменного дутья. Установка ДЗМО была запроектирована состоящей из 2 агрегатов по 5 000 м<sup>3</sup>/час 60%-ного кислорода на общую мощность 10 000 м<sup>3</sup>/час обогащённого воздуха. Проектирование установки было начато в 1933 г. Конструкторским бюро 1-го автогенного завода Наркомтяжпрома, которому было поручено также изготовление технологического оборудования и монтаж установки. К изготовлению машин для установки ДЗМО были привлечены также и другие заводы Союза, которым пришлось впервые в то время осваи-

вать изготовление весьма сложного оборудования. Так, например, турбокомпрессоры изготовлялись Невским машиностроительным заводом имени Ленина, электромоторы к ним — заводом «Электросила»; поршневые компрессоры на 222 атм. и поршневые детандеры — Сумским заводом им. Фрунзе. Ряд отдельных частей установки: кожухи регенераторов, холодильники турбокомпрессорного воздуха, механизмы переключения, клапаны принудительного действия изготовлялись заводом ДЗМО.

В процессе проектирования и изготовления установки в проект вносился ряд изменений. Несколько раз строительство установки и изготовление оборудования для неё прекращались и возобновлялись вновь.

Монтаж установки закончен в 1940 г. и в апреле 1940 г. первый кислородный агрегат пустили в пробную эксплуатацию. В октябре 1940 г. был смонтирован и опробован второй агрегат.

При первоначальном проектировании установки ДЗМО и изготовлении агрегатов вследствие отсутствия достаточного опыта в постройке мощных кислородных установок был допущен ряд дефектов, которые пришлось исправлять уже в процессе изготовления и монтажа оборудования, что удлинило сроки монтажа и удорожило изготовление агрегатов. Такими основными дефектами, устранёнными в последующий период работ, являлись:

а) Недостаточная величина давления, выбранная для технологического потока воздуха, подаваемого в установку турбокомпрессорами. Турбокомпрессоры были изготовлены на конечное давление в 3,8 атм. Это давление при запроектированных рабочих поверхностях основного и добавочного конденсаторов не обеспечивало получения заданной чистоты кислорода в 60—65%. Так как турбокомпрессоры в это время были уже изготовлены и смонтированы, то первоначально было запроектировано установить дополнительную турбовоздуходувку для поддува воздуха во всасывающий трубопровод основных турбокомпрессоров. В дальнейшем этот вариант полностью осуществлён не был, а вопрос повышения чистоты получаемого кислорода частично разрешили установкой в блоке разделения добавочного (третьего) конденсатора испарителя змеевикового типа, с использованием в нём вместо азота в качестве теплоносителя сжатого воздуха после регенераторов.

б) Для охлаждения воздуха после турбокомпрессоров первоначально были запроектированы и изготовлены водяные холодильники

оросительного типа. Эти холодильники были рассчитаны неправильно и при работе имелось опасение в возможности их «захлебывания». Поэтому при монтаже вместо оросительных холодильников пришлось изготовить и установить поверхностные холодильники трубчатого типа.

в) Кожухи регенераторов были изготовлены клепаными. При опробовании установки клепаные швы дали течь. Фланцы кожухов регенераторов оказались недостаточно жесткими, и не было возможности уплотнить их надлежащим образом. Поэтому были изготовлены новые кожухи из труб, сваренных водяным газом. Холодный конец регенераторов при

г) Первоначальная конструкция клапанов и клапанного распределения при опробовании оказалась неудачной и была заменена новой более компактной и надёжной в работе, по типу применяемых в установках Линде-Френкель.

Принципиальная технологическая схема установки ДЗМО показана на рис. 1. Как уже указывалось выше, установка состояла из 2 агрегатов, каждый из которых был рассчитан на получение 5 000 м<sup>3</sup>/час обогащённого кислородом воздуха, содержащего 60% кис

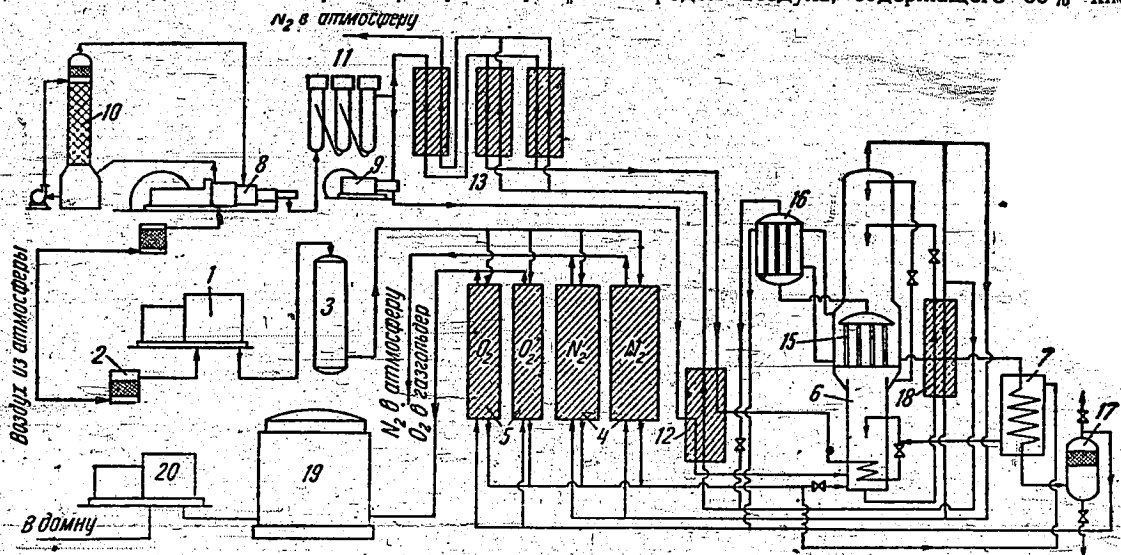


Рис. 1. Технологическая схема кислородной установки ДЗМО.

втором варианте был изготовлен уже из цветного металла. Верхняя и нижняя части регенераторов соединялись между собой на фланцах. При этом удалили промежуточные конусы в регенераторах, которые первоначально были в них запроектированы с целью сбора и продувки конденсационной влаги. Освободившееся пространство было также заполнено галетами насадки, благодаря чему полезный объём насадки в регенераторах увеличился на 15%. Одновременно с этим были изменены размеры регенераторов, установлены клапаны для перекува и увеличен период переключения, что позволило значительно снизить потери воздуха в регенераторах, которые достигли в первом варианте 33% от общего количества турбокомпрессорного воздуха.

лорода. На два агрегата установлено 2 турбокомпрессора, 3 поршневых компрессора высокого давления и 3 поршневых детандера.

Подвергающийся разделению воздух поступает в аппарат двумя потоками:

а) основной поток (технологический) в количестве 17 000 м<sup>3</sup>/час от турбокомпрессора Невского машиностроительного завода (6 000 об/мин., 270 м<sup>3</sup>/мин, мотор 1 500 квт, 1 500 об/мин., давление 3,8 атм.);

б) дополнительный поток воздуха высокого давления 200 атм. в количестве 2 250 м<sup>3</sup>/час, от поршневого компрессора 1 500 м<sup>3</sup>/час, мотор 500 квт; на 2 аппарата работает 3 поршневых компрессора этого типа.

Эти компрессоры и детандеры обеспечивали получение холода, необходимого для за-

пуска установки и покрытия холодопотерь при установившемся процессе.

Воздух из турбокомпрессора 1, очищаемый предварительно фильтром 2, пройдя холодильник 3, направляется в один азотный 4 и один кислородный 5 регенераторы, пройдя которые поступает в нижнюю ректификационную колонну 6. При этом часть воздуха идет через выносной конденсатор 7, испаряя находящийся в его трубках жидкий кислород, отводимый затем из установки через кислородные регенераторы. Очистка турбокомпрессорного воздуха от углекислоты и влаги производится в регенераторах путем вымораживания этих примесей.

Переключение регенераторов производится от пневматического механизма с помощью тарельчатых клапанов принудительного действия на теплом конце (верх) и клапанов автоматического действия на холодном конце (низ). Период полного цикла переключения регенераторов был установлен 3 минуты.

В качестве холодильного цикла в данной станвке был принят цикл Гейландта с поршневым компрессором 8 высокого давления и поршневым детандером 9.

Воздух из поршневого компрессора подвергается очистке от  $\text{CO}_2$  в щелочных скрубберах 10 под давлением 7,5—8 атм. Очистка от влаги производится твердым каустиком в осушительных батареях 11 под давлением до 200 атм.

Часть воздуха высокого давления (35—45%) поступает в поршневой одноцилиндровый детандер 9, где, расширяясь до давления 4 атм., проходит затем детандерную часть якорного теплообменника и подается в нижнюю колонну 6 разделительного аппарата. Остальная часть воздуха высокого давления идет через группу переключающихся теплообменников 13 предварительного охлаждения, где охлаждается отходящим из установки изотом до  $-50^\circ\text{C}$ , а затем направляется в компрессорную часть якорного теплообменника 12, охлаждаясь в ней до  $-120^\circ\text{C}$ , и далее поступает в разделительный аппарат.

Разделительный аппарат имеет двухколонную конструкцию с основным конденсатором 15 в средней части. Кроме того, он имеет конденсатор 16 и добавочный выносной конденсатор-испаритель 7 крученого типа, в трубках которого проходит отводимый из аппарата жидкий кислород (обогащенный воздух), испаряемый сжатым воздухом, проходящим из регенераторов через межтрубное пространство в нижнюю колонну аппарата.

Кислород из добавочного конденсатора поступает в регенераторы через абшайдер 17, где остается часть его, сильно загрязненная ацетиленом, удаляемая наружу путем периодических сливов.

Обогащенная кислородом жидкость из нижней колонны подается в верхнюю колонну через азотный переохладитель 18, где несколько переохлаждается, подогревая ( $-192^\circ$  до  $-185^\circ$ ) азот, отходящий из аппарата в регенераторы. Это делается во избежание возможной конденсации воздуха в регенераторах.

Обогащенный кислородом до 60% воздух из установки поступает в газгольдер 19, емкостью 2000  $\text{м}^3$ , откуда воздуходувкой 20, производительностью 10 000  $\text{м}^3/\text{час}$ , подается в домну. Требуемая концентрация кислорода в подаваемом в домну воздухе устанавливалась путем регулировки шиберов на трубопроводе воздуходувки.

Технологическая схема промышленной кислородной установки с регенераторами была осуществлена у нас в Союзе впервые на установке ДЗМО, и этим объясняются те трудности, которые пришлось преодолевать в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации регенераторов для данной установки.

На рис. 2, 3, 4 и 5 приведены фотографии, дающие представление о размерах компрессорного и технологического оборудования кислородной станции ДЗМО.



Рис. 2. Общий вид здания кислородной станции ДЗМО.

Основные техно-экономические показатели для кислородных агрегатов этой установки приведены в таблице на стр. 36.

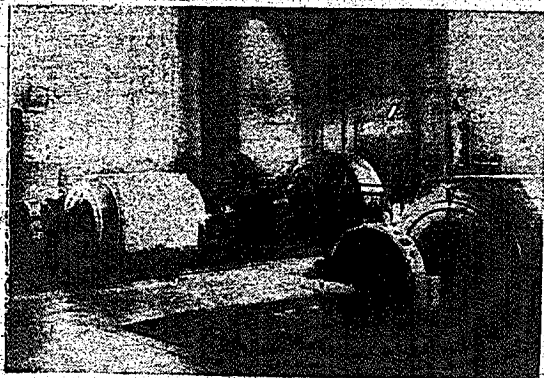


Рис. 3. Машинный зал. Турбокомпрессоры кислородной установки.

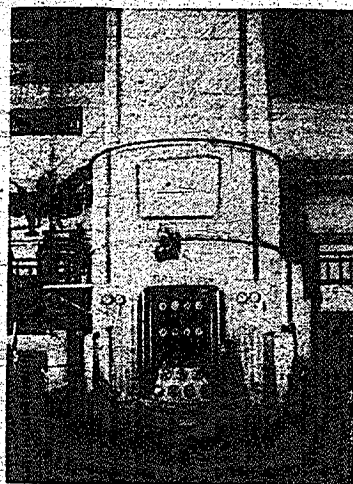


Рис. 4. Разделительный аппарат, производительностью 5 000 м<sup>3</sup> в час обогащенного воздуха (60% кислорода).

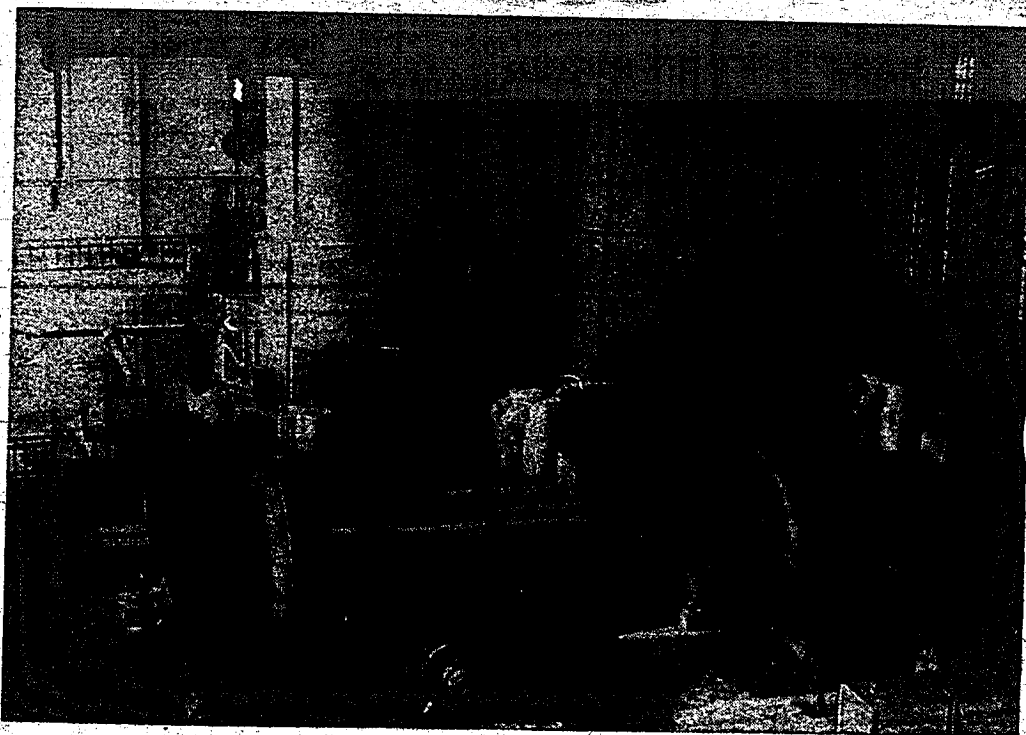


Рис. 5. Машинный зал и помещение кислородных аппаратов. (Вид со стороны расположения турбокомпрессоров.)

## Основные технико-экономические показатели для кислородной установки ДЗМО

(Продолжение таблицы)

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество
1	Число агрегатов	шт.	2
2	Производительность 60% O <sub>2</sub>	м <sup>3</sup> /час	2×5000=10 000
3	Число турбокомпрессоров	шт.	2
4	Число поршневых компрессоров высокого давления	»	3
5	Число поршневых детандеров	»	3
6	Производительность каждого турбокомпрессора	мм <sup>3</sup> /час	17 000
7	Давление основного потока воздуха перед регенераторами	атм.	3,8
8	Количество воздуха высокого давления на I аппарат	мм <sup>3</sup> /час	2 250
9	Недорекуперация на теплом конце регенераторов	°Ц	3
10	Недорекуперация на теплообменниках	°Ц	12
11	Чистота продуктов разделения O <sub>2</sub>	%	60
12	Чистота продуктов разделения N <sub>2</sub>	%	97
13	Расчётные холодопотери установки:		
	а) в окружающую среду	ккал/час	34 000
	б) на недорекуперацию	»	23 700
	в) общие	»	57 700
14	Холодопроизводительность цикла в том числе:		
	воздуха высокого давления	»	23 300
	воздуха низкого давления	»	4 600
15	Температурный напор в основном конденсаторе	°Ц	4,55
16	Характеристика азотного регенератора:		
	тепловая нагрузка	ккал/час	696 100
	поверхность насадки	м <sup>2</sup>	11 750
	вес насадки	кг	4 900
	диаметр	мм	1 500
	высота	»	5 320
17	Характеристика кислородного регенератора:		
	тепловая нагрузка	ккал/час	339 000
	поверхность насадки	м <sup>2</sup>	4 000
	вес насадки	кг	2 335
	диаметр	мм	900
	высота	»	5 320
18	Удельный расход электроэнергии на получение 1 м <sup>3</sup> кислорода:		
	а) 60% O <sub>2</sub>	кВтч	0,385
	б) 100% O <sub>2</sub>	»	0,65
19	Изотермический КПД турбокомпрессора		0,55

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество
1	Эксплуатационные данные		
	Эксплуатационные расходы в год	руб.	3 200 000
	в том числе:		
	электроэнергия	»	1 250 000
	зарплата	»	130 000
	цеховые расходы	»	1 050 000
2	Штаб обслуживающего персонала	чел.	71
	в том числе:		
	ИТР	»	13
	рабочих	»	49
	из них:		
	аппаратчиков	»	16
	машинистов	»	28
3	Расход воды	м <sup>3</sup> /год	2 837 232
4	Расход каустической соды	т/год	88,5
5	Расход компрессорного масла	»	18,9
6	Расход машинного масла	»	16,2
	Монтажно-строительные данные		
1	Габариты здания:		
	длина	м	56
	ширина	»	30
	Общая площадь вспомогательных помещений	м <sup>2</sup>	1 632
	Средняя высота	м	13,8
	Строительный объём	м <sup>3</sup>	22 537
	Фундаменты	»	1 000
2	Капитальные затраты	млн. руб.	15 425
	в том числе:		
	а) оборудование машинное и технологическое	»	5,9
	Из него:		
	Турбокомпрессоры	»	
	2 шт.	»	1,5
	Поршневые компрессоры	»	
	3 шт.	»	0,65
	Детандеры поршневые	»	
	3 шт.	»	0,475
	Аппаратура глубокого охлаждения	»	
	б) энергосиловое	»	3,275
	в) монтаж	»	0,825
	г) транспортные расходы	»	1,35
	д) здания и сооружения	»	0,6
	е) здания и сооружения	»	0,85
3	Расход металла (без компрессоров):		
	а) меди и латуни	т	67
	б) алюминиевой ленты	»	30
	в) чёрных металлов	»	75
	г) вес поршневых компрессоров и детандеров (3×18)+(3×6)	»	72
	д) вес моторов к поршневым компрессорам (3×25)	»	75

Работа кислородных агрегатов для доменного дутья на ДЗМО дала большой опыт в области освоения эксплуатации мощных кислородных установок, работающих на турбокомпрессорах, с применением регенераторов в качестве основных теплообменных аппаратов. Обслуживающий персонал хорошо освоил особенности ведения процесса разделения воздуха на крупных агрегатах. Не останавливаясь на положительных моментах, отметим основные неполадки и трудности, с которыми пришлось столкнуться в процессе освоения этой первой промышленной установки для кислородного дутья.

Содержание кислорода в получаемом продукте колебалось от 58 до 62%, составляя в среднем 60%  $O_2$ . Однако, для достижения указанной концентрации кислорода приходилось давление воздуха после турбокомпрессора держать равным 4,1—4,2 атм., вместо запроектированного 3,8 атм. Это давление было уже близко к предельной величине давления для имевшихся на установке турбокомпрессоров, составлявшей 4,3 атм., при которой машины начинали входить в «помпаж».

Запуск и охлаждение агрегатов проходили нормально. Охлаждение аппарата производилось при работе 2 поршневых компрессоров и 1 детандера. Время до начала появления жидкости в конденсаторе составляло около 12—15 часов, а до установления режима 20—24 часа.

Во время работы установки имел место постоянный унос некоторого количества жидкого кислорода в регенераторы из основного и добавочного конденсаторов, а также накопление значительного количества  $CO_2$  в нижней и верхней колоннах, вследствие чего происходило «зависание» жидкости в аппарате.

Явление уноса  $CO_2$  в ректификационные колонны разделительных аппаратов объяснялось следующими причинами:

а) колебанием температуры на холодном конце регенераторов (от  $-140^\circ$  до  $-190^\circ$  Ц при нормальной  $-170^\circ$  Ц) вследствие несовершенства работы клапанного устройства;

б) недоохлаждением регенераторов вследствие изменения соотношения между прямым и обратным потоками газов в них при регулировке холодопроизводительности цикла высокого давления в соответствии с режимом работы первого или второго кислородного аппарата;

в) механическим проскоком  $CO_2$  через насадку регенераторов и фильтров.

Большие затруднения при эксплуатации вызывало накапливание в аппаратах значительных количеств ацетиленов, что вызывало необходимость вести постоянные сливы жидкого кислорода из конденсатора. Количество ацетилена в отдельных случаях доходило до  $5\text{ см}^3$  осадка ацетиленистого серебра на 5 л жидкого  $O_2$  при норме в  $0,8\text{ см}^3$ . В этом случае приходилось сливать до  $\frac{2}{3}$  всего кислорода, находившегося в конденсаторе. Регулярно же сливалось до 20—30 ведер жидкого кислорода за смену.

Неудовлетворительно работали поршневые детандеры. Первые 3 детандера, изготовленные по чертежам завода «Борец», совершенно не работали, и наладить их не удалось. Пришлось их заменить детандерами новой конструкции Сумского завода им. Фрунзе. Но и у них в процессе эксплуатации выявилось много дефектов: сильный износ поршневых колец, частые разрывы ремней, замечался усиленный износ главной распределительной шестерни и пр.

Ряд неполадок в работе имел место вследствие дефектов в изготовлении аппаратов, вызывавших остановку агрегатов на ремонт. Так, например, были случаи отказа распределительных клапанов регенераторов, приводившие к опасному повышению давления в верхней колонне, и прочие более мелкие дефекты.

На основании материала, полученного в результате работы кислородных агрегатов на ДЗМО, можно сделать следующие выводы:

1. Опытная работа промышленной домны на кислородном дутье показала полную возможность применения его на металлургических заводах как метода интенсификации доменного процесса.

2. Выявить полностью все технико-экономические показатели не представилось возможным вследствие относительной их непродолжительности и прекращения дальнейших испытаний по ряду причин, не связанных с работой завода.

3. Осуществленная на ДЗМО схема кислородной установки явилась неэкономичной с точки зрения удельного расхода электроэнергии на  $1\text{ м}^3$  получаемого кислорода и слишком громоздкой, требовавшей большого количества цветных металлов, дефицитного оборудования и материалов (поршневые компрессоры, детандеры, каустик, компрессорное

масло и пр.), а также значительных производственных площадей.

Конструктивное оформление установки имело также целый ряд дефектов, отрицательно влиявших на её эксплуатацию.

Поэтому строительство мощных агрегатов для доменных печей, работающих на кислородном дутье по схеме кислородных установок ДЗМО, является нецелесообразным.

В этом отношении значительные перспективы открывает постройка мощных турбокислородных установок низкого давления по схеме академика П. Л. Капица, которая позволяет построить более простые, более компактные, надёжные в работе и достаточно экономичные агрегаты для получения больших количеств газообразного кислорода.

## ИЗ ИНОСТРАННОЙ ТЕХНИКИ

### РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОРОДА В АМЕРИКЕ\*)

Как в предвоенный период, так особенно в период после вступления США в войну и выполнения утверждённой в январе 1942 г. Конгрессом США программы вооружений, предусматривающей выпуск в 1942—1943 гг. 185 000 шт. военных самолётов, 120 000 танков, 55 000 зенитных орудий и 18 млн. т торговых судов, кислород применялся и применяется американской промышленностью в основном для газовой сварки и резки металлов. Данных о применении кислорода в других отраслях промышленности для интенсификации технологических процессов не имеется, и использование кислорода в США для этих целей, очевидно, пока весьма ограничено. Поэтому весь промышленный выпуск кислорода в США используется для автогенной обработки металлов. Война дала очень сильный толчок расширению применения сварки и резки во всех областях металлообрабатывающих производств, которые быстро ушли преимущественно сварки и резки перед другими технологическими приёмами и ту экономии в металле и рабочей силе, которую позволяет получить этот вид обработки металлов. Самое широкое внедрение сварки и резки, особенно в военную промышленность, дало возможность Америке успешно справиться с огром-

ной программой производства вооружений. В разрешении этой важнейшей задачи чрезвычайно большое значение имело быстрое развитие производства кислорода в стране не имевшее прецедента на протяжении последних 10—15 лет.

В таблице I приведены данные о росте выпуска кислорода в США в ценностном выражении за период 1937—1941 гг. по сведениям переписи фирм США.

Таблица I

Годы	1937	1938	1939	1940	1941
Выпуск кислорода (в млн. долларов)	26,1	20,9	24,0	40,0	45,7
В процентах по отношению к выпуску продукции всех отраслей промышленности США, обслуживающих сварку и резку	31,6	35,9	33,0	32,2	24,0

По этой таблице видно, что даже в годы промышленной депрессии производство кислорода занимало значительный удельный вес, не обнаруживая тенденции к сокращению. Снижение относительного выпуска кислорода в последующие годы объясняется отнюдь не

\*) По материалам журнала The Welding Journal, № 3, 1942.