

# РАССЕКРЕЧЕННЫЕ ДОКУМЕНТЫ СЛУЖБЫ ВНЕШНЕЙ РАЗВЕДКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: К 100-ЛЕТИЮ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

## Оглавление

Октябрь 1942 года. Краткие заметки о диффузионной разделительной установке. ....	2
1943 год. Спецсообщение о диффузионно-разделительной установке для получения урана-235. Устройство завода. ....	18
1943 год. Спецсообщение о диффузионно-разделительной установке для получения урана-235. Очистительная система.....	31
16 декабря 1943 года. Спецсообщение по итогам заседания по вопросу очистительной системы завода.....	37
16 декабря 1943 года. Спецсообщение по итогам заседания по вопросу очистительной системы завода (оригинал на английском языке).....	42

Октябрь 1942 года. Краткие заметки о диффузионной разделительной установке.



Экз. № 1

Совершенно секретно.

/ОСОБАЯ ПАПКА/

Снятие копий и размножение  
воспрещается.

Раздел \_\_\_\_\_  
№ 446-А

Дата окт. 1942 г.

---

КРАТКИЕ ЗАМЕТКИ О ДИФфуЗИОННОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ  
УСТАНОВКЕ.

1. Коррозия.

В течение первых десяти дней наблюдается начальное разрушение  $UF_6$  на стали. Позже разрушение становится незначительным. Верхний предел для потери  $UF_6$  в установке равняется 1 кг за день /соответственно 1 мг на кв.фут за день/.

Хотя данные не являются полными или окончательными нет основания предполагать, что при температурах в 75-80° сталь будет заметно разрушаться или вызовет разложение  $UF_6$  в больших количествах.

2. Гидравлические затворы.

Фтороуглероды со смазывающими свойствами /масла/ будут подходящими для всех соединений включая соединения, находящиеся в контакте с  $UF_6$ . Предварительные испытания образца показали, что они являются стойкими. Еще неизвестно является ли упругость пара достаточно низкой.

### 3. Мембраны.

Эффективное разделение травленных мембран, производимых здесь таково, что оптимальное давление /при входе в мембранную пару/ равняется 10-12 мм *Hg*. Предполагают довести давление до 10 см *Hg*.

Новая техника была усовершенствована. Медная пластинка погружается в ванну, содержащую суспензию тончайшего никелевого карбоната, которому предоставляется оседать на пластинку. Затем никель подвергается электролизу в промежутках между *Ni*-карбонатом. Мембрана травится и нагревается в водороде. Механическая обработка мембран является затруднительной, но не невозможной. Тонкие мембраны /менее 0,005"/ должны свариваться в опoki для поддержки неприкрепленных /свободных/ концов.

Прогиб мембран вследствие одностороннего давления окажется серьезным при высоких давлениях, имеющих в виду, так как прогиб имеет такой же порядок величины, как промежуток между мембранами.

Предлагаются следующие новые усовершенствования. Устроить ее при помощи электролитического осадка на мембрану. Поместить мембрану под напряжение. Это является трудным, так как оно должно быть сделано в двух направлениях. Уменьшить расстояние на концах.

### 4. Проект машины.

Предварительный проект машины для более высоких давлений /10 см *Hg* /. Проект является по существу, таким же



как для более низких давлений. Были сделаны два варианта, один для *rabbit* - машины /разделяющийся на 3 части/ и один с охлаждающими трубами перед входом газа в мембранные коробки.

Для более высокого давления потребуется вакуумный мотор на 250 *н.р.*

#### 5. Продукты деления с большим периодом полураспада.

Для образца облучаемого в течение 2-х месяцев циклотронными нейтронами.

Дается относительный избыток  $\beta$  и  $\gamma$  -активностей /т.е. число распадов/ в течение 50 дней после прекращения бомбардировки.

Элемент	Полураспад	$\beta$ излучение			$\gamma$ - излучение		Отношение отсчетов к Нулевой толщине
		Пробег мг/см <sup>2</sup>	Полутолщина мг/см <sup>2</sup>	Энергия MeV	Полутолщина мг/см <sup>2</sup>	Энергия MeV	
Барий	12-5 дней	300	40	0-8	2-5	0.2-0.5	170
Лантан	44 часов	650	80	1-5	5-8	0.5-0.8	35
Стронций	55 дней	700	120-60	1-5	6	0-6	300
Цирконий	~ 2 мес.	100 /400 не- дель/	"	0.4 /1.0/	6	0.6	40
Колумбий	~ 1 мес.	30	2-5	0-15	6-5	0.7	40
Иттрий	57 дней	1100	70-120	2-2	4-7	0.4-0.7	300
Цезий	20 дней	60	8	0-25	4-5	0.4-0.5	400
	200 дней	>1300	240-150	2-7			

Теллур	32 дней	700	80	I-5			
	/72м. дочерний/						
	90 дней	300		0.8			
	/9.3м. дочерний/						
Иод	8 дней	500	22	I-2	3	0.4	100
	1 мес.	30	6	0-15	3	0.4	100
Рутений	3 мес.	1300	300	2-7	4	0.4	40

Относительный избыток  $\beta$  и  $\gamma$  -активности, 50 дней после бомбардировки.

Элемент	$\beta$	$\gamma$
Барий + лантан	17	25
Церий	23	4
Иттрий	23	8
Стронций	15	5
Цирконий + колумбий	17	47
Рутений	4	10
Иод	1/2	0
Теллур	1	-
Всего:	100	

Церий: Невозможно сказать, который из двух определенных  $\beta$  -активностей принадлежит продолжительный или короткий период полураспада активности. Спустя

два месяца, кажется, должен быть вдвое больший распад вследствие слабого излучения по сравнению с сильным излучением.

Теллур: Больше излучения вызывается 32 днями изотопа с его 72 минутным изомерным дочерним элементом.

Рутений: Большая часть  $\beta$ -излучения в мягком компоненте.  $\gamma$ -излучение для обоих компонентов.

#### 6. "Промышленное применение диффузионного метода".

Планы основываются на предположении коэффициента разделения 79% идеального значения и на установке, производящей 1 кг в день с 90% чистотой.

Каждая ступень обслуживается одним или двумя компрессорами переменной мощности.

2600 "большие ступени" /около входа/ обслуживаются центробежной воздуходувкой, "промежуточные ступени" поршневыми насосами. "Маленькие" ступени около верхней части установки не рассматриваются. Контрольная установка, содержащая 5 "больших" и 5 "средних" ступеней строится и должна быть закончена. Полная установка должна быть готова, если ей придается особое значение.

7. Коррозия. Материалами, в порядке уменьшающегося сопротивления газу, являются металлы:  $Ni$ ,  $Al$ ,  $Cu$ , нержавеющая сталь,  $Ag$ , магний, платина, олово<sup>x</sup>, кадмий<sup>x</sup>, свинец<sup>x</sup>. Не металлы: фторуглерод, бутиловый каучук, графит<sup>x</sup>, углеводороды<sup>x</sup>. / x - не рекомендуются/.



8. Мембраны. Планы базируются на травленных мембранах, полученных травлением 70% Са, 30% сплава марганца с разбавленной хлористо-водородной кислотой /0,6-1,2 обычной/. Сплав с более высоким содержанием марганца не дает достаточной крепости. Поддерживается около 1% *Mg* для того, чтобы предотвратить перекристаллизацию Са. Надеются, что в конечном итоге, будут использоваться мембраны, получаемые из чистого порошка *Ni*.

9. Диффузоры. Мембраны /0,005" толщины/ прикрепляются сварочным швом к перфорированной подставке из фосфористой бронзы /1/32" толщины/. Это может быть сделано, возможно, перед травлением. Две таких пластинки свариваются вместе и образуют пару. Расстояние между мембранами в паре равняется 3/32". На самых больших ступенях мембраны составляют от 1 фута до 6. Достаточное смещение потока через пару достигается турбулентностью.

Пары поддерживаются в правильном положении разделенными лобовыми стенками. Распределительные волны при входе обычно обеспечивают равномерное снабжение всех пар.

10. Насосы: На больших ступенях будет применяться центробежный насос емкостью в 2600 *c.f.m.* /ф<sup>3</sup>/мин/, который будет работать при постепенно уменьшающемся давлении на более высоких ступенях.

Рабочее давление на самой большой ступени:  
На входе 6,5 фн/дм<sup>2</sup>

Тяжелое обратное давление  $5,5 \text{ фн/дм}^2$   
 Легкое " "  $1,5 \text{ фн/дм}^2$

## II. Затворы /0,0005"/

Незначительные зазоры получаются с помощью применения принципа упорного подшипника *Kingsbury* к смазке газовой пленки /см. рис. I и 2/.

На первом образце, поверхность диафрагмы слегка суживается так, что она образует клинья, которые сжимают поток газа. Поток газа держит диск и диафрагму в отдельности.

На втором образце, который работает на такой же основе, суживание поверхности не является необходимым.

Предлагается использовать фторуглерод как газ для затвора, который будет течь в компрессор для того, чтобы избежать потери газа при диффузии.

Фторуглерод  $C_7F_{16}$  более тяжелый чем  $UF_6$  будет использоваться, так что он идет вниз установки к выбросу.

Использование центробежных насосов ограничивается количеством газа для затвора, который может быть допущен в установку. Фторуглерод используется одновременно как водяной затвор против воздуха /рис. 3/.

Возможность подвижного мотора в  $UF_6$  и использование фторуглерода для смазывания исследуется. Затворы все еще будут необходимы, чтобы предохранить мембраны от попадания на них масляных капель. Один насос в каждой сту-



пени сжимает легкую фракцию, до тяжелого обратного давления, а второй насос сжимает обе фракции до вводимого давления. /см. рисунок в конце/.

12. Насосами на промежуточных ступенях будут поршневые насосы. 3-цилиндровый насос с  $650 \text{ c.f.m.} / \text{ф}^3 / \text{мин} /$  легкой фракции при  $1,5 \text{ фн} / \text{дм}^2$  давлении до  $80 \text{ c.f.m.} / \text{ф}^3 / \text{мин} /$  емкости, 2-х и 1-цилиндровый насос до  $40 \text{ c.f.m.} / \text{ф}^3 / \text{мин} /$  емкости. Малый ход 2" используется для того, чтобы уменьшить изношенность металлической воздуходувки. Диаметр поршня равняется 20". Насос работает при 1000 обор/мин. Металлическая воздуходувка 24" длины в 6 отделений, каждое отделение содержит */?/ a large tongue* для того, чтобы предотвратить сильную инерцию волн. В дополнение будет необходимо поддерживать каждый оборот воздуходувки, возможно при помощи каучуковых упоров */?/*.

Зазор между поршнем и стенкой равняется  $0,005"$ . Надеются, что действие смазывания газовой пленкой будет держать поршень и стенку в отдельности.

13. Оценки для 600-ступенчатой установки для дублирования концентрации с производительностью равноценной I кг в день *U-235*. Эта установка планируется таким образом, чтобы она могла быть соединена в большую установку производящую I кг в день с 90% чистотой.

Установка содержит 600 одинаковых ступеней, обслуживается 1200 центробежными воздуходувками с всасывающей ем-

костью в 6000 с.ф.м./ф<sup>3</sup>/мин/. Расход энергии: 27000 лш. сил. Производительность охлаждения: 68  $10^6$  в.т.ч. в час. Охлаждающая вода: 11,400 галлонов/минут. Площадь пола: 100.000 кв.ф. Sealent и охлаждающая жидкость: 14.000 галлонов  $C_7F_{16}$ . 75 тонн порошка Ni для мембран. Стоимость 22.700.000 долларов. Время для строительства: 10 месяцев; для испытания 3-4 месяца.

Степень сжатия: до 3,25.

Мембраны: 206 листов на ступень /6' : 1' / с пористостью  $\gamma = 1 \cdot 6 \cdot 10^{-4}$ .

#### 14. Замечания о контроле установки.

Из главных расчетов установлены следующие факты. Определим  $\alpha$  как чувствительность давления фракции разделения. В другой установке  $\alpha$  является ограниченно малой, так как поток является турбулентным.

Но если  $\alpha N$  -большое /  $N$  = общему числу ступеней/, теория развита для применения нашей установки. Если же  $\alpha N$  является малым, будет необходимо вести промежуточные контрольные точки для давления и контроля потока. Если  $\alpha$  является отрицательным и  $|\alpha N|$  большим, будет невозможно контролировать полезный поток через ректифицирующую секцию установки.

#### 15. Насосы для высших ступеней установки.

Желательно: сухой процесс, совершенно закрытый насос, работающий при 1000 оборотов/мин., приблизительно, с

135

- 10 -

50% об"емной производительностью. Следующие типы конструируются:

Диафрагмовый насос: нижняя сторона гибкой диафрагмы попеременно выставляется на воздух и вакуум /рис.4,5,6/.

Верно:

*Мухина*

/МУХИНА/

" 8 " августа 1946 г.



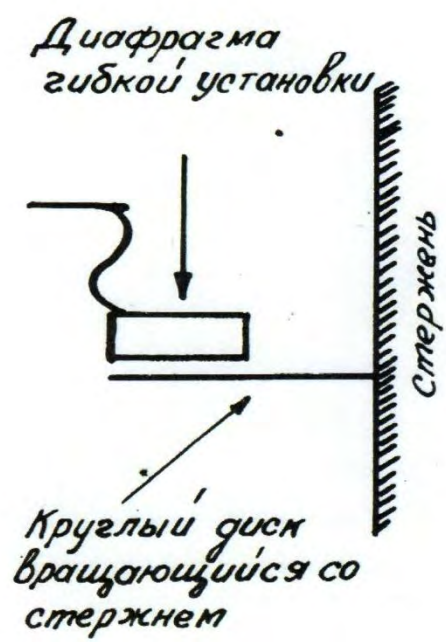
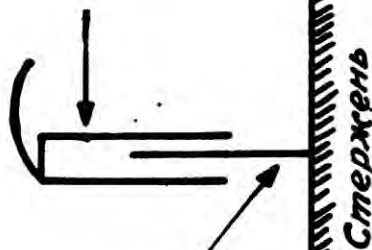


Рис. 1.

451

Неподвижные метал-  
лические пластинки,  
установленные  
гибко



Круглая метали-  
ческая диафрагма,  
установленная на  
стержень

Рис 2.

157

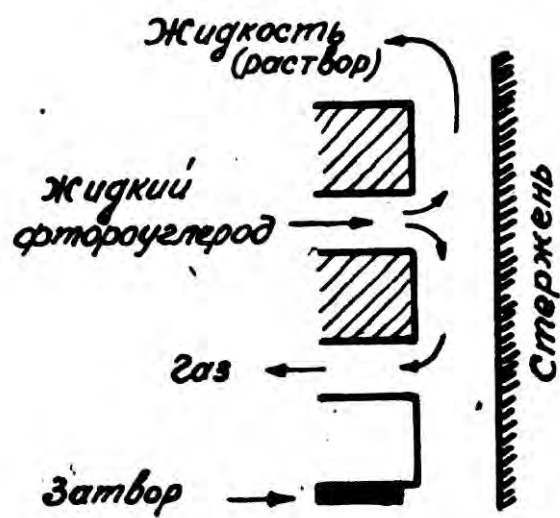


Рис. 3.

154



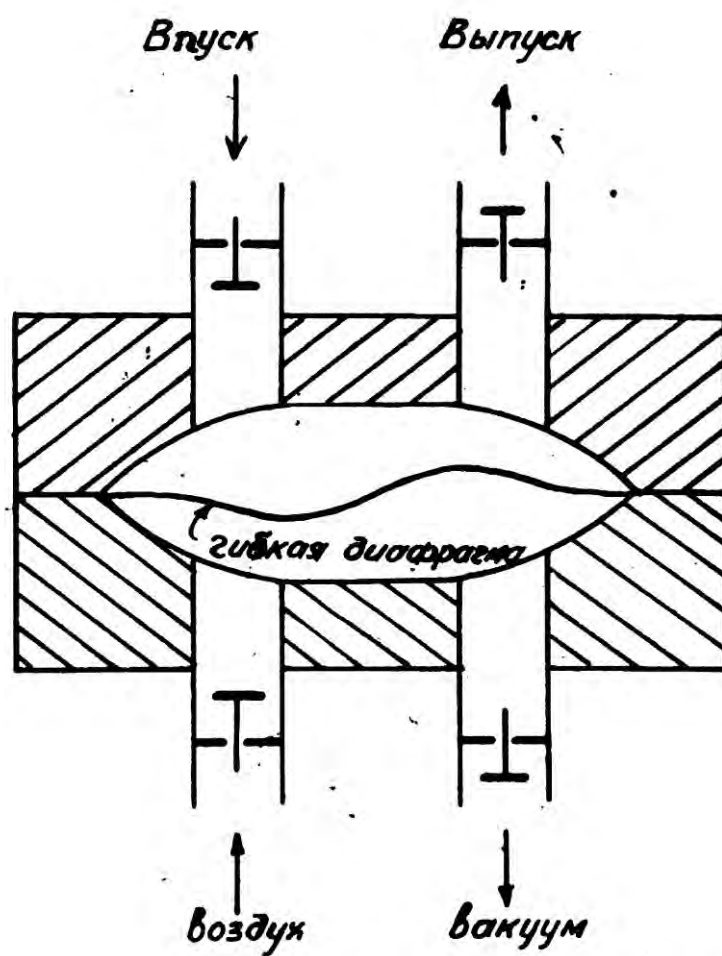
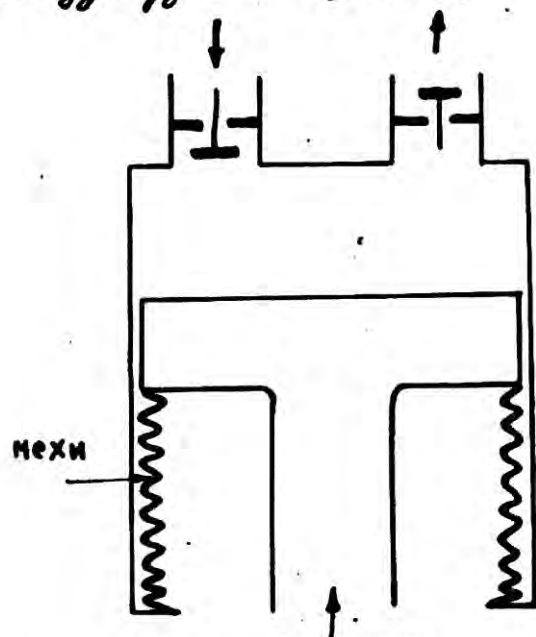


Рис. 4

159

Насос Сульфона, закрытый  
воздуходувкой Сульфона.

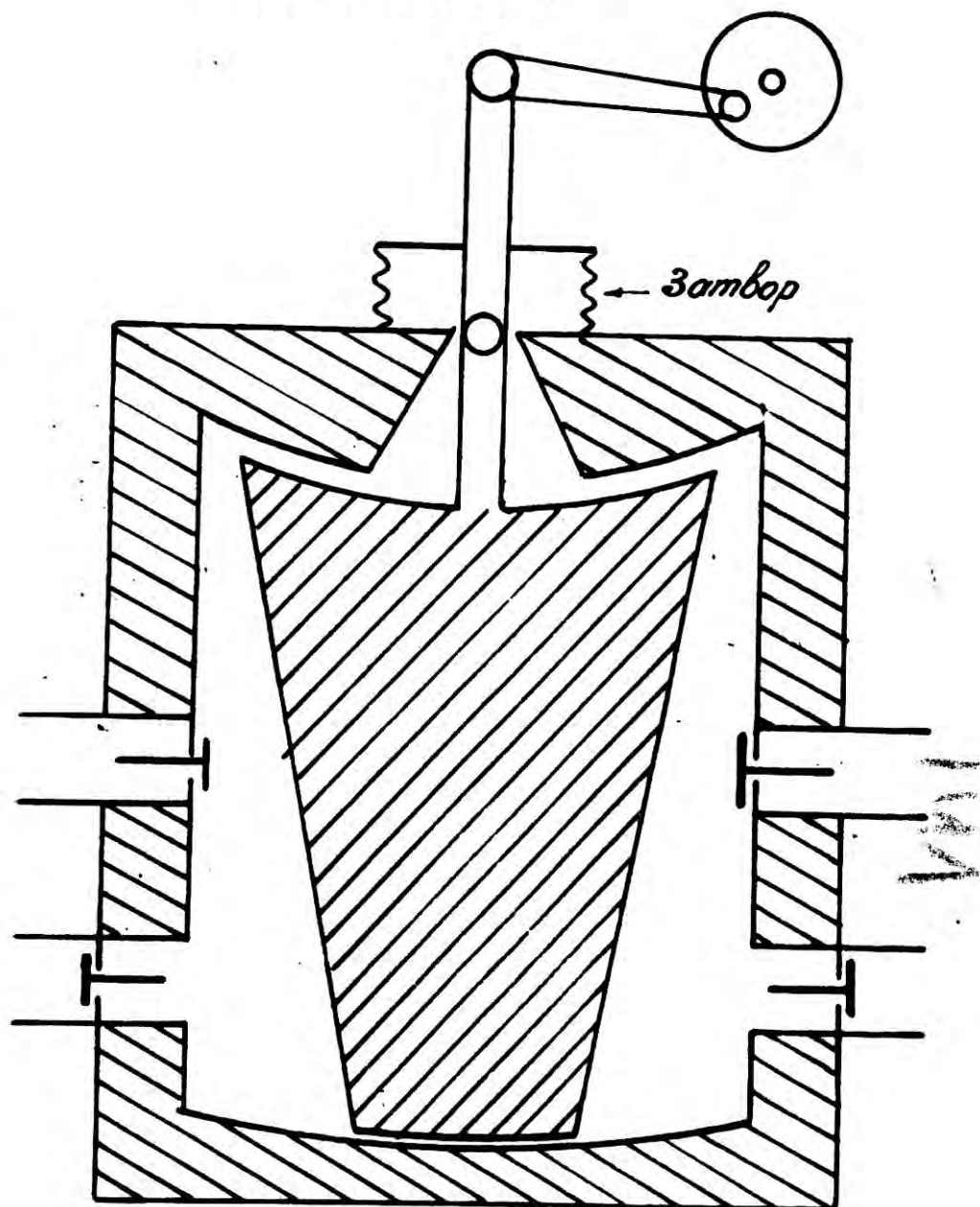


Поршень  
Магнитный голландский насос  
(как использовал (применял) Капица)

Рис. 5.

140

*Насос Паддл*



*Рис. 6.*



1943 год. Спецсообщение о диффузионно-разделительной установке для получения урана-235. Устройство завода.

**\*РАССЕКРЕЧЕНО\***  
Служба внешней разведки РФ 10

2м №1  
ОБ.СЕКРЕТНО

ОСОБАЯ ПАПКА

Снятие копий и размножение  
воспрещается:

*Хранить наряду  
с шифром*

Раздел 2-7к2

№ 264

Дата 1943 г.

ДИФФУЗИОННО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УРАНА-235.

УСТРОЙСТВО ЗАВОДА.

I. Схема технологического процесса.

	<u>Фунт/сутки</u>	<u>концентрация</u>
Подача	2108	0,71 %
Отходы	2081	0,5 %
Продукт	13	36,5 %
Потери	14	

Потери составляют:

Реакция с водой - 2 г/сутки.

Потери при пуске машины и выключении - 1% легкой фракции.

Остальное - вследствие реакции с материалами. 23% общего количества легкой компоненты, вводимой в установку, переходит в конечный продукт.

Концентрацию продукта можно регулировать изменением

производительности, а именно:

Производительность	Концентрация продукции
1,15 кг/сутки	36,6%
1,6	10
1,95	5
0	76

Имеется 2892 ступени, из которых 2520 должны быть нормально в действии. На регенератор приходится 220 ступеней.

Главные виды регулирования:

1/ Регулирование подачи и готовой продукции. 2/ Регулирование противотока от отвала до низшей ступени. 3/ Регулирование производительности очистительного каскада.

Просачивание охлаждающего вещества /фтористый углерод -  $C_8F_{16}$ / по предположениям должно составлять 500 фунт./сутки, которое выходит вместе с отходами.

Это требует очень хорошего уплотнения охлаждающих труб. Расход энергии в основном падает на компрессоры и составляет 20.000 HP для регенератора и 120.000 HP для ректификатора.

## 2. Схема завода.

1/ Ступень: состоит из общего холодильника и диффузора; пройдя холодильник, газ попадает в трубы 7 футов длиной и 5/8 дюйма диаметром. Имеется три прохода, так что

общая эффективная длина равна 21 футу. Трубы сделаны из барьеров, через стенки диффундирует легкая фракция, затем она проходит через компрессор /газодувка "А"/, который сжимает ее до промежуточного давления. Тяжелая фракция проходит сквозь клапан струйного типа.

Как легкая фракция из предыдущей ступени, так и тяжелая фракция из последующей ступени сжимаются компрессором "В", который питает холодильник и диффузор.

Каждая ступень имеет "регулятор давления" /прибор, который регулирует открытие клапана для тяжелой фракции, соответственно давлению тяжелой фракции после выхода из диффузора; название "регулятор давления" неудачно, регистрирующие приборы для измерения давления, температуры и потока. /Вероятно действует по принципу перепада давления в сечении колен труб/.

2/ Ячейка состоит из 6 ступеней. Ее можно изолировать и обойти при помощи 4-х блоккранов, управляемых вручную. Для приведения их в действие требуется около 5 минут.

Каждая ячейка пускается в ход отдельно и для этой цели имеет линии "обратного цикла", связывающие выходное отверстие 6-го компрессора "А" с первым компрессором "В" и тяжелую фракцию из I-й ступени с входным отверстием 6-го компрессора "В". Таким образом, никакие примеси, /в частности  $N_2$  из затворов/ не будут скапливаться в



6-й ступени. Линии обратного цикла связаны накрест между 3 и 4 ступенью и в главной части установлены соединения для  $N_2$ , фтора и отходов. Имеется постоянное соединение для снабжения сухим азотом; другие линии присоединяются, как требуется.

В верхней части ячейки /6-я ступень/ имеется также прямая линия обратного цикла на случай плохой работы блокомкранов. Контрольный клапан в каждой прямой линии обратного цикла поставлен так, чтобы создать постоянный поток из компрессора "А". При нормальном действии около 3% подачи компрессора "А" проходит через клапан. В нижней части ячейки линия обратного цикла не проводится, т.к. компрессор "В" работает удовлетворительно при 50% потоке.

Ячейка заключается в сварной корпус из мягкой стали /причем моторы помещаются снаружи/. Воздух в корпусе охлаждается до точки росы  $-40^{\circ}C$ , чтобы уменьшить влажность при проникновении воздуха до минимальной величины. Каждая ячейка имеет отдельную систему подачи сухого азота для затворов /давление в азотных затворах контролируется во всех ступенях ячейки одновременно; точка росы  $N_2$   $-100^{\circ}F$  /; ячейка имеет свою собственную охлаждающую систему, причем регулятор температуры должен держать температуру постоянной в пределах  $\pm 2^{\circ}$  и имеет свою собственную систему смазки для моторов. Нарушение работы этих



приспособлений отразится только на одной ячейке.

Предполагается, что оперативная эффективность ячеек должна составить 6/7 /т.е. 42 ячейки в день не будут работать/.

3/ Корпус содержит от 3-х до 14 ячеек, обычно 6 или 8, расположенных в виде подковы. Корпус может быть изолирован блоккранами, проводимыми в движение моторами. Предусматривается дублирующая сеть обходных линий, равно как и дублирующие соединения для обратного цикла. Всего на каждый корпус приходится 18 блоккранов. Всякое сильное загрязнение распространяется по корпусу в течение приблизительно 2-х минут и вызывает необходимость в изоляции всего корпуса.

Каждый корпус имеет систему холодных ловушек. Если ячейку необходимо выключить из линии, газ в ячейке /если он не загрязнен/ выкачивается и распределяется среди соседних ячеек /в ходе обсуждения выяснилось, что вопрос о хранении газа остается открытым; имеет ли это свои преимущества или нет, необходимо выяснить/; остаток газа удаляется сухим азотом и собирается в холодной ловушке. Сильно загрязненный материал направляется прямо в холодную ловушку.

На каждый корпус предназначаются два аналитических прибора для измерения концентрации примесей. Они дейст-

вуют с отставанием во времени менее, чем на одну минуту. Один из них постоянно соединен с верхней ступенью корпуса. Другой может быть присоединен к верхней ступени любой из ячеек.

Все линии между корпусами помещены в рубашки с сухим воздухом.

Во время пуска в ход завода, все обходные линии слегка приоткрываются, чтобы обеспечить в них необходимую концентрацию газа.

4/ Секция состоит из ряда корпусов. В пределах каждой секции размер компрессора постоянный, хотя в некоторых секциях имеются два подразделения, работающие при разных давлениях. Секция содержит 250-500 ступеней.

Каждая секция может работать независимо от других с полным возвратом и для этой цели она может быть соединена с очистительным каскадом. Хотя секция не может эффективно разделять вещество, однако, это имеет то преимущество, что секция может работать даже если она изолирована. Это может потребоваться, если выйдут из строя ряд последовательных корпусов, так как в этом случае падение давления в обходных линиях будет слишком большим. Такая случайность настолько невероятна, что в обходных линиях не стоит вводить вспомогательные насосы, при условии, если неповрежденные секции смогут продолжать работать.



Вверху и внизу каждой секции устанавливаются барабаны большой емкости. Верхний служит резервуаром для азота и, если секция работает при полном возврате, то для присоединения очистительного каскада к секции он позволяет запаздывание на I час. Резервуары не мешают передаче колебаний <sup>содержания</sup>. Если секция работает при полном возврате, нижний резервуар регулирует колебания. При этом допустимы колебания содержания в секции в пределах  $\pm 4\%$ .

Данные таковы:

Секция	Содержание секции	Содержание резервуара	
		Среднее	Пределы
I /и - I /	II.000 фун.	680 фун.	340-1020 фун.
3а	I.460	91 /в нижнем резервуаре/	
4	636	27 /в верхнем резервуаре/	

5/ Отвальная часть завода. На отвальной части завода предусматриваются два больших резервуара с давлением между 3 и 25 фунта/кв.дюйм, которое соответствует содержанию в 420-3480 фунтов. /Общая вместимость завода составляет 31.500 фунтов гекса<sup>x</sup>/. 3-х ступенчатым сжатием давление тяжелой фракции нижней ступени повышается от 1,4 до 33 фунтов/кв.дюйм и фракция спускается вниз в резервуары для хранения. Соответствующее количество подается из резервуаров обратно в нижнюю ступень при определенных и постоянных условиях потока.

Отходы отводятся и конденсируются в жидкость, при-

х/ Гекс - UF<sub>6</sub> /?/

чем отводящееся в сторону количество регулируется давлением в резервуарах. Эта схема была принята для того, чтобы допустить флюктуации распространяющиеся к нижней части установки и чтобы избежать непрерывной конденсации и кипения газа, за исключением небольшого количества, которое окончательно удаляется из завода.

### 3. Время установления равновесия.

Время для установления равновесия равняется 93 дням. Около 60 дней приходится на содержание в диффузорах. Около 10% всего содержания находится в обходных линиях.

### 4. Разное.

Моторы рассчитаны только на 10% перегрузку и перегрузку свыше 10% в течение длительного периода не выдерживают.

### Замечания по вопросу регулирования давления.

Давление тяжелой фракции после того, как она выйдет из фильтра, переносится в воздушную камеру, и регулятор давления полностью работает от давления воздуха.

Давление воздуха регистрируется и передается регулятору, который дает /опять-таки пневматически/ указания позиционеру. Позиционер регулирует давление воздуха, которое изменяет положение клапана.

Устройство является стандартным прибором.



Проводимость В клапана определяется, как поток через клапан, деленный на давление верхней части потока  $P_2$ . Простое пропорциональное регулирование предполагает, что проводимость пропорциональна давлению  $P_2$ , т.е.  $P_2/\bar{P}_2 = g B/\bar{B}$ , где  $P_2$  и  $B$  являются величинами  $B$  и  $P_2$  в нормальных рабочих условиях;

$g$  - постоянная величина, определяемая <sup>как</sup> чувствительность клапана. Значение  $g=1$  соответствует клапану с ламинарным контролем. Работа вероятно будет вестись при величине  $g=2$ .

Работу устройства по отрегулировке можно объединить с работой регулятора давления, функция которого состоит в возвращении давления  $P_2$  к определенной величине  $\bar{P}_2$ ; это имеет то преимущество, что среднее давление <sup>не</sup> изменится /или изменится предписанным образом, если сделать  $\bar{P}_2$  функцией времени/, если установка будет повреждена, например, если произойдет закупорка барьеров.

Принцип отрегулировки можно представить в виде уравнения:

$$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{B}{\bar{B}} - g \frac{P_2}{\bar{P}_2} \right\} = a \left\{ \frac{P_2 - \bar{P}_2}{\bar{P}_2} \right\}.$$

Постоянная величина  $a$  - имеет размерность обратного времени и определяет собою скорость отрегулировки.

Фактически, регулятор давления не работает так

165

- 10, -

идеально, как это представлено в этом уравнении, и до этого не имелось никакого представления о влиянии недостатков действий регулятора. Единственный результат, который был достигнут, был основан на предположении, что регулятор работает безошибочно, за исключением запаздывания во времени, так что проводимость клапана всегда соответствует давлению в предыдущий момент. Это запаздывание во времени должно быть меньше времени циркуляции в ступени /т.е. отношение емкости к количеству циркулирующего вещества/.

Более точно: запаздывание  $< \lambda/g^2$ .

Иначе завод будет являться неустойчивым. Запаздывание, однако, представляет собой идеальный случай, действительный только для очень медленных изменений давления.

Идеализация запаздывания является особым случаем общего вопроса о "линейных" зависимостях между В и Р. Если предполагать линейную зависимость, то в общем случае будет запаздывание и, дополнительно к этому, уменьшение амплитуды изменений в проводимости клапана /т.е. фактически уменьшение чувствительности/.

Как запаздывание, так и уменьшение чувствительности будут зависеть от частоты изменений давления и вышеприведенное уравнение для запаздывания / $g$ , замененное уменьшенной чувствительностью/ должно удовлетворять всем частотам.



Может даже произойти увеличение в чувствительности для некоторых "резонансных частот", за исключением тех случаев, когда регулятор сконструирован таким образом, что резонансные частоты исключаются.

Чтобы быть уверенным в отношении устойчивости завода, необходимо знать запаздывание и изменение чувствительности для всех возможных частот. Более того, необходимо быть уверенным, что уменьшение чувствительности происходит только при быстрых флюктуациях /с периодами порядка времени циркуляции/, иначе регулятор не выполнит своего назначения.

Предположение относительно линейной зависимости между давлением и проводимостью /включая, конечно, все производные <sup>по</sup> времени/ является, безусловно, также идеализацией, но достаточно общей, чтобы дать возможность вывести некоторые заключения. Фактически это может быть не плохим описанием для достаточно малых флюктуаций, однако, для больших колебаний это предположение неизбежно становится недействительным, т.к. в действительности имеется участок, в котором клапан изменяет положение с равномерной скоростью /для данного определенного изменения давления/. Это обусловлено трением.

Из линейной идеализации мы можем вывести заключение, что регулятор давления может в действительности иметь

влияние, ведущее к нарушению устойчивости периодических флюктуаций, если он <sup>не</sup> достаточно быстро реагирует на изменения в давлении. В противном случае может быть несовпадение по фазе с изменениями давления и поэтому он может начать реагировать в противоположном направлении тому, которое требуется. Это поведет к определенной неустойчивости. Он должен реагировать в пределах времени не больших, чем время циркуляции.

Если используется отрегулировка, то ее скорость должна быть чрезвычайно малой и, безусловно, не больше, чем величина обратная времени требуемому для того, чтобы нарушение обошло весь завод. Причиной для этого условия является то, что для некоторых нарушений /например, постоянное превышение давления по всему заводу/ понадобится время такого порядка до тех пор, пока давление в некоторых ступенях будет иметь возможность измениться. Если скорость отрегулировки слишком большая, механизм отрегулировки в это время придет в неравновесное состояние и нарушит свои пределы, что определенно поведет к неустойчивости.

Существует мнение, что искусственный регулятор, используемый на заводе, уступает методам /пропуск / управления, так как он вводит приспособления, имеющие свои собственные несовершенства и иногда может полностью оказаться негодным.



Ламинарный регулятор более предпочтителен хотя, конечно, необходимо разработать эффективный клапан с ламинарным сопротивлением.

Другим выходом является "язычковый клапан". Отверстие клапана частично прикрыто гибким язычком, который с увеличением потока отгибается дальше от отверстия

#### Барьеры.

А - барьер. Никелевая сетка осаждается на медную фольгу /которая затем удаляется/ слоем /углекислая закись никеля в порошке; углерод восстановлен/.

В слое легко образуются трещины, эта тенденция может быть устранена путем предварительной обработки медной фольги.

KI - барьер. Полоска из спекшегося никелевого порошка используется для слоя /А/ в качестве прокладки. В этом случае образование трещин менее серьезно, так как трещины будут частично прикрыты подкладкой.

При спекании используется какой-нибудь связующий материал, который затем удаляется.

#### Барьер из фтористого кальция.

Порошок фтористого кальция втирается в полоску из /спрессованного ?/ никелевого порошка. Обладает очень высокой разделительной способностью, но еще не испытан на способность засоряться. Этот вид барьера находится в ранней экспериментальной стадии.

Верно:  
" 31 " октября 1945 г.

*А. М. Шенников*  
ШЕННИКОВ/  
Г. М. Шенников

1943 год. Спецсообщение о диффузионно-разделительной установке для получения урана-235. Очистительная система.



№1  
Совершенно секретно.

ОСОБАЯ ПАПКА.

Снятие копий и размножение  
воспрещается.

Раздел 2-7кз

№ 263

Дата 1943 г.

*Хранить не менее  
с шифром*

ДИФФУЗИОННО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ

УРАНА - 235.

ОЧИСТИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА.

А. Примеси.

Все просачивающиеся примеси (за исключением охлаждающего вещества, которое тяжелее „процессного газа“) уносятся в верхнюю часть завода.

Ожидается, что общее количество газа, подлежащее удалению, должно составить 2.200 стандартных кубических футов в сутки. В это количество входят:

1. Утечка через замазки - 1.250 куб.ф./день, в случае замазок типа муфты; 1.500 куб.ф./сутки в случае вязких замазок.

2. Вакуумные утечки через соединения и т.д. - 500 куб.ф./сутки, что соответствует повышению давления на 1,35 мм ртутного столба в сутки, из расчета общего объема по заводу в 282.000 куб.футов.

Нормы натекания воздуха в машинах и т.д. очень строгие и вышеуказанную цифру можно уменьшить.



3. Просачивание  $N_2$  при введении процессного газа в ступени, которые временно были выключены, 100 куб.ф./сутки (процессный газ вгоняется в ступень из холодной ловушки сухим  $N_2$ ).

4.  $N_2$ , оставшийся в ступени до введения процессного газа - 100 куб.ф./сутки.

5. Утечка сквозь клапаны - 250 куб.фут./сутки (блокирующие клапаны - это двойные клапаны с затвором из  $N_2$ ). Большую часть примеси составляет  $N_2$  и небольшая доля  $O_2$ .

#### Б. Очистительные каскады.

Имеется 3 очистительных каскада: два работающих, третий запасный. Очистка производится разделением путем диффузии, при помощи параллельных плоских диффузоров (мембранные пары) с диффузионным смешиванием (ламинарный поток). Применяются поршневые насосы (еще не достаточно хорошо разработанные) производительностью 450 куб.футов в минуту. Барьеры - 3 дюйма ширины, 2 фута длины и расположены на расстоянии  $3/32$  дюйма друг от друга.

В каждом диффузоре около 120 каналов.

Давление на стороне с высоким давлением составляет 3 фунта на кв. дюйм. Полезная площадь барьера каждого диффузора около 100 кв.футов.

На каждую ступень приходится только один насос (а не 2, как в главном каскаде). В каскаде имеется около 42 ступеней; 4 ступени запасные.

### В. Действие очистительной системы.

Соответствующее количество легкой фракции из самой высокой ступени главного каскада отводится для питания очистительных каскадов. Практически, чистый  $N_2$  удаляется в верхней части очистительных каскадов, а смесь процессного газа с  $N_2$  с пониженной концентрацией  $N_2$  возвращается снизу очистительного каскада в верхнюю ступень главного каскада. Требуемое количество процессного газа будет, повидимому, отводиться от этого обратного потока.

Если одну секцию главного завода изолировать и работать с полным возвратом, то один из очистительных каскадов будет связан с верхней частью этой секции по тому же принципу.

Эта система была принята для того, чтобы поддерживать достаточно малую концентрацию  $N_2$  в верхней части главного каскада ( 25 мол. % ).

### Г. Схема технологического процесса.

( Приведенные цифры не всегда последовательны ).

Подача на один очистительный каскад 24000 куб.ф./сутки с содержанием  $N_2$  в 25% (молярных).

Возвратная подача содержит 2 мол. %  $N_2$  (что соответствует удалению 5500 куб.ф./сутки  $N_2$ , при коэффициенте запаса, равном 5 выше предполагаемого просачивания).



Можно допустить повышенную скорость очистки в 40000 куб.ф./сутки с 15 мол.%  $N_2^{(?)}$  в возвратном потоке.

Данные по количеству потерь процессного газа при удалении  $N_2$  рассчитаны лишь для прежней устаревшей сейчас схемы. В той схеме количество удаляемого  $N_2$  составляло 860 куб. фут./сутки на один каскад и мол.концентрация процессного газа составляла  $2,8 \cdot 10^{-6}$  (или  $1,35 \cdot 10^{-4}$  при ускоренной очистке в 40000, т.е.  $1,7 \cdot 10^{-5}$  (или  $5 \cdot 10^{-3}$ ) фун./сут.).

При большой скорости очистки в 40000 один из двух очистительных каскадов должен быть связан с верхней частью следующей нижней секции, так как легкая фракция из более высокой ступени составляет только 70000 куб.фут./сутки.

#### Д. Количество процессного газа.

Два очистительных каскада содержат по 5 фунтов процессного газа. Содержание  $N_2$  во всем заводе составляет 2 - 300 куб.фут.

Время установления равновесия для  $N_2$  равно приблизительно 2 часам для всего завода и 2 минутам для очистительного каскада.

#### Управление очистительной системой.

Никакой определенной системы управления не разработано. Чтобы помешать попаданию  $N_2$  в главный каскад или же, напротив помешать слишком большому увеличению концентрации

процессного газа в продукте очистительного каскада, необходимо непрерывно изменять скорость удаления  $N_2$ . Поэтому лучше всего сделать так, чтобы скорость удаления  $N_2$  регулировалась концентрацией  $N_2$  в той ступени очистительного каскада, где обычно концентрация составляет приблизительно 50-50. Было предложено разработать автоматическое регулирование путем обращения действия "регулятора давления" в верхней половине очистительного каскада, так чтобы полезный поток вперед через верхнюю половину определялся бы условиями у места подачи газа. В таком случае поток будет чувствителен к изменениям в концентрации у этой точки, и это может быть достаточным для стабилизации концентрации.

Для завода обращенный регулятор давления в принципе возможен, если применяются искусственные регуляторы. (При регулировании ламинарным сопротивлением в тяжелой фракции этот способ был-бы неприемлем).

Удовлетворительная работа очистительной системы, а значит и всего завода, зависит от этой проблемы регулирования, которая еще не разрешена.

#### Разные вопросы.

Коэффициент разделения для системы  $N_2$  - процессный газ принят равным 2,5 - 3. Это теоретическое значение и оно еще не проверено на опыте.

Влияние  $N_2$  на работу центробежных насосов. Коэффициент сжатия обязательно должен понизиться и концентрация  $N_2$  в

146

5.-

главном здании завода, равная 25%, кажется несколько повышенной.

Обычно принималось, что концентрация не должна превышать 10%. Установлено, что при чистом  $N_2$  степень сжатия будет составлять только 1,1 : 1.

Влияние  $N_2$  на разделение компонент процессного газа не рассматривалось. Расчеты показывают, что ограничение допустимой концентрации  $N_2$  в этой отношении менее строгое, чем ограничение, вызываемое влиянием на коэффициент сжатия.

ПРИМЕЧАНИЕ: "процессный газ" -  $UF_6$

В Е Р Н О:

(ЗЕМСКОВ)

" 1 " ноября 1945 года.



16 декабря 1943 года. Спецсообщение по итогам заседания по вопросу очистительной системы завода.

157

**\*РАСЕКРЕЧЕНО\***  
Служба внешней разведки РФ 10

ЗАСЕДАНИЕ ПО ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ  
16 декабря

А. П Р И М Е С И.

Все просачивающиеся <sup>загрязняющие</sup> вещества (за исключением охлаждающего вещества, которое тяжелее процессного газа) уносятся в верхнюю часть завода.

<sup>Предполагается</sup> Предполагается, что общее количество газа, подлежащее удалению, должно составить 2.200 стандартных кубических футов в день. В это количество входят:

1. Утечка через затворы - 1.250 куб. ф./день, в случае затворов типа муфты; 1.500 куб. ф./день в случае <sup>получих</sup> дисковых затворов.
2. Вакуумные <sup>насосов</sup> утечки через соединения и т.д. - 500 куб. ф./день, что соответствует повышению давления на 1,35 мм ртутного столба в день, из расчета общего объема по заводу в 282.000 куб. футов.

Нормы для <sup>насосов</sup> утечки воздуха в машинах и т.д. очень строгие и вышеуказанную цифру можно уменьшить.

3. Просачивание  $N_2$  при введении процессного газа в ступени, которые временно были выключены, 100 куб. ф./день (процессный газ вгоняется в ступень из холодной ловушки сухим  $N_2$ ).

4.  $N_2$ , остававшийся в ступени до введения процессного газа - 100 куб. фут/день.

5. Утечка сквозь клапаны - 250 куб. фут/день (блокирующие клапаны - это двойные клапаны с затвором из  $N_2$ ). Большую часть <sup>примесей</sup> загрязняющих веществ составляет  $N_2$  и небольшая доля  $O_2$ .

152

59  
2.

### Б. ОЧИСТИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ.

Имеется 3 очистительных каскада: два работающих, третий запасный. Очистка производится <sup>разделением</sup> отделением путем диффузии, с использованием <sup>и при наличии</sup> параллельных плоских диффузоров (мембранные пары) и <sup>о чистоте</sup> диффузионное смешивание <sup>не</sup> (ламинарный поток). Применяются поршневые насосы (еще не достаточно хорошо разработанные) производительностью 450 куб. <sup>фут</sup> футов в минуту. Мембраны 3 дюйма ширины, 2 фута длины и расположены на расстоянии 3/32 дюйма друг от друга.

В каждом диффузоре около 120 каналов.

Наивысшее <sup>на высшей ступени</sup> давление <sup>перехода</sup> составляет 3 фунта на кв. дюйм. Полезная площадь мембраны каждого диффузора около 100 кв. фут.

На каждую ступень приходится только один насос (а не 2, как в главном каскаде). В каскаде имеется около 42 ступеней; 4 ступени запасные.

### В. ДЕЙСТВИЕ ОЧИСТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.

Соответствующее количество легкой фракции из самой высокой ступени главного каскада отводится ~~в сторону~~ для питания очистительных каскадов. Практически, чистый  $N_2$  удаляется в верхней части очистительных каскадов, а смесь процессного газа с  $N_2$  с пониженной концентрацией  $N_2$  возвращается снизу очистительного каскада в верхнюю ступень главного каскада. <sup>Тогда</sup> Необходимое количество процессного газа будет, по видимому отводится ~~в сторону~~ от этого обратного потока.



153

3.

Если изолировать одну секцию главного завода и работать при полном рефлюксе, то один из очистительных каскадов будет связан с верхней частью этой секции по тому же принципу.

Эта система была принята, чтобы поддерживать ~~не-~~ большую концентрацию  $N_2$  в верхней части главного каскада (25 мол.%)

#### Г. СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

(Цифры, данные на этом заседании, не всегда последовательны.)

Подача на один очистительный каскад — 24,000 куб. ф./день с содержанием  $N_2$  в 25 % (мол. %).

В газе обратной подачи содержится 2 мол. %  $N_2$  (что соответствует удалению 5,500 куб. ф./день  $N_2$ , при коэффициенте запаса, равном 5 против предполагаемого просачивания).

Можно допустить повышенную скорость очистки в объеме 40.000 куб. ф./день с 15 мол. %  $N_2$  в возвратном потоке.

Данные по количеству потерь процессного газа при удалении  $N_2$  рассчитаны лишь для прежней устаревшей сейчас схемы. В той схеме количество удаляемого  $N_2$  составляла 860 куб. фут./день в каскаде, и мол. концентрация процессного газа составляла  $2,8 \cdot 10^{-6}$  (или  $1,35 \cdot 10^{-4}$  при ускоренной очистке в 40.000, т.е.  $1,7 \cdot 10^{-5}$  (или  $5 \cdot 10^{-3}$ ) фун./день).

При большей скорости очистки в 40.000 один из двух очистительных каскадов должен быть связан с верхней



частью следующей нижней секции, так как легкая фракция из более высокой ступени составляет только 70.000 куб. фут./день.

#### Д. КОЛИЧЕСТВО ПРОЦЕССНОГО ГАЗА.

Два очистительных каскада содержат по 5 фунтов процессного газа. Содержание  $N_2$  во всем заводе составляет 2 - 3000 куб. футов.

Время установления равновесия для  $N_2$  равно приблизительно 2 часам для всего завода и 2 минутам для очистительного каскада.

#### УПРАВЛЕНИЕ ОЧИСТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ.

Никакой определенной системы управления ~~пока не предложено~~. Чтобы помешать попаданию  $N_2$  в главный каскад или же, напротив помешать слишком большому увеличению концентрации процессного газа в продукте очистительного каскада, необходимо <sup>непрерывно</sup> постоянно изменять скорость удаления  $N_2$ . Поэтому <sup>лучше</sup> всего сделать так, чтобы скорость удаления  $N_2$  <sup>контролировалась</sup> концентрацией  $N_2$  в той ступени очистительного каскада, где обычно концентрация составляет приблизительно <sup>50-50</sup> половину. Было предложено разработать автоматический <sup>вместо ручного</sup> контроль, путем <sup>обращения</sup> перемены направления действия "регулятора давления" в верхней половине очистительного каскада, так чтобы чистый поток вперед через верхнюю половину определялся бы условиями у места подачи газа. В таком случае поток будет чувствителен к изменениям в концентрации у этой

точки, и это может быть достаточным для стабилизации концентрации.

Для американского завода в принципе возможен поворотный регулятор давления, поскольку там применяются искусственные регуляторы. (При регулировании ламинарным сопротивлением тяжелой фракции этот способ не приемлем).

Удовлетворительное управление очистительной системой, а поэтому и всем заводом, зависит от этой проблемы регулирования, которая еще не разрешена.

#### РАЗНЫЕ ВОПРОСЫ.

Предполагается, что коэффициент деления для системы  $N_2$  - процессный газ равен 2,5 - 3. Это теоретическое положение и оно еще не проверено на опыте.

Влияние  $N_2$  на работу центробежных насосов. Коэффициент сжатия обязательно должен понизиться и концентрация  $N_2$  в главном здании завода, равная 25 %, кажется несколько повышенной.

Обычно принималось, что концентрация не должна превышать 10 %. Предполагают, что при чистом  $N_2$  степень сжатия будет составлять только 1,1 : 1.

Влияние  $N_2$  на разделение двух составных частей процессного газа не рассматривалось. Расчеты показывают, что ограничение допустимой концентрации  $N_2$  в этом отношении менее строгое, чем ограничение, вызываемое влиянием на коэффициент сжатия.



16 декабря 1943 года. Спецсообщение по итогам заседания по вопросу очистительной системы завода (оригинал на английском языке).

**\*РАСЕКРЕЧЕНО\***  
Служба внешней разведки **№ 10**

16th December. Meeting on purge system. 147

A. Contaminants.

All inleaking contamination (with one exception of the coolant, which is heavier than P.G.) is carried to the top of the plant.

The total amount to be purged is expected to be 2,200 SFM (standard cubic feet). This figure is made up as follows:

(1) Leakage through seals: 1,250 SCF/day for sleeve type seal, 1,500 SCF/day for viscosity disk seal.

(2) Vacuum leaks, through joints etc. 500 SCF/day (This corresponds to a pressure rise of 1.35 mm Hg/day, since the total plant volume is 282,000 cubic feet).

The standards for air inleakage on the machines etc. are very strict and the figure given above may be reduced.

(3)  $N_2$  inleakage during introduction of PG into stages, which have been temporarily off the line: 100 SCF/day (PG is swept from the cold trap into the stage by dry  $N_2$ ).

(4) Residual  $N_2$  in stage before the PG is introduced: 100 SCF/day.

(5) Leakage through valves 250 SCF/day (The block valves are double valves with  $N_2$  seal). Most contamination is  $N_2$  and a small fraction  $O_2$ .

B. The purge cascades.

There are three purge cascades; two are expected to be in normal operation, the third being a stand by. The purging is done by means of separation by diffusion, using parallel plate diffusers (membrane pairs) with diffusive mixing (laminar flow). They use reciprocating pumps (not yet satisfactorily developed) of a capacity of 450 cfm (cubic feet per minute). The barriers are 3" wide, 2' long and the spacing is 3/32". There are about 120 ducts in each diffuser.



148

2.-

The pressure on the high pressure side is 3 psi (pound/square inch). Each diffuser contains about 100 ft<sup>2</sup> active barrier. There is only one pump per stage (not two as in the main cascade). There are 42 stages per cascade, 4 stages being spares.

#### C. Operation of purge system.

A suitable portion of the light fraction from the highest stage of the main cascade is branched off as feed for the purge cascades. Practically pure N<sub>2</sub> is taken out at the top of the purge cascades and a mixture of PG and N<sub>2</sub> with reduced N<sub>2</sub> concentration is returned from the bottom of the purge cascade to the top stage of the main cascade. The required output of PG will probably be branched off from this return flow.

If a section of the main plant is isolated and run with total reflux, one of the three purge cascades will be connected to the top of that section on the same principle.

This system has been adopted in order to keep the N<sub>2</sub> concentration at the top of the main cascade sufficiently small (25 mol %).

#### D. Flow sheet.

(The figures given at this meeting do not appear to be always consistent). Feed for one purge cascade: 24,000 SCF/day with 25 mol% N<sub>2</sub>. The return feed contains 2 mol% N<sub>2</sub> (This would mean a withdrawal of 5,500 SCF/day of N<sub>2</sub>, allowing a safety factor 5 above estimated inleakage).

Alternatively a higher purge rate of 40,000 SCF/day may be used with 15 mol % (?) N<sub>2</sub> in the return.

Figures for the loss of PG in the  $N_2$  withdrawal had been calculated only for an earlier scheme which is now obsolete. In that scheme the rate of withdrawal of  $N_2$  was 860 SCF/day per cascade and the mol concentration of PG was  $2.8 \cdot 10^{-6}$  (or  $1.35 \cdot 10^{-4}$  for the higher purge rate of 40,000), i.e.  $1.7 \cdot 10^{-5}$  lb/day (or  $5 \cdot 10^{-3}$  lb/day).

At the higher purge rate of 40,000 one of the two purge cascades would have to be connected to the top of the next lower section, since the light fraction from the highest stage is only 70,000 SCF/day.

#### E. Hold-up.

The two purge cascades contain 5 lb of PG.

The hold-up of  $N_2$  in the plant is 2-300 cubic feet (SCF presumably). The equilibrium time for  $N_2$  is about 2 hours for the plant and 2 minutes for the purge cascade.

#### F. Control of purge system.

No definite control system was proposed. In order to prevent  $N_2$  flowing over into the main cascade, or alternatively to prevent the concentration of PG in the output of the purge cascade from rising too much, the rate of withdrawal of  $N_2$  has to be adjusted continuously. Therefore it seems to be best to let the rate of  $N_2$  withdrawal be controlled by the  $N_2$  concentration in a stage of the purge cascade where normally the concentration is about 50-50. It was proposed that it might be possible to evolve an automatic control by reversing the "pressure-controller" action in the upper half of the purge cascade, so that the net forward flow through the upper half is determined by the conditions at the feed point.



150

4.-

Then the flow will be sensitive to changes in the concentration at the feed point and it may be sufficient to stabilise the concentration. (Reversal of the pressure controller is in principle possible for the USA-plant, since they use artificial controllers. It would not be possible if control through a laminar resistance in the heavy fraction is adopted).

The satisfactory operation of the purge system and therefore of the whole plant depends on this control problem, which has not yet been solved.

#### G. Miscellaneous.

The separation factor for  $N_2$ -PG has been assumed as 2.5 - 3; this is a theoretical value and has not been checked by experiments.

Effect of  $N_2$  on performance of centrifugal pumps. The compression ratio is bound to drop and the figure of 25%  $N_2$  concentration in the main plant seems somewhat high. We usually assumed that one should not allow more than 10%. It was stated that on pure  $N_2$  the compression ratio would be only 1.1 : 1.

The effect of  $N_2$  on the separation of the two components of PG has not been considered. Calculations indicate that the limitation on the permissible concentration of  $N_2$  on this score is less than the limitation arising from the effect on the compression ratio.