

Господин Гексафторид - 4. Первый Контакт

Итак, весна растопила лед и он тронулся. После неудачных попыток объявить участников БД и БЭВ "английскими шпионами", запугать их всех вместе и по одиночке подметными письмами по месту работы, и т.п., руководство АЭХК вынуждено было пойти на прямой публичный контакт с экологами, и 24.04., на территории фонда "Байкал 3 тысячелетие" состоялся Первый Круглый стол, за которым противоборствующие стороны смогли, наконец, посмотреть друг другу в глаза сквозь накопившийся туман удаленного противостояния.

Благодаря виртуозному ведению это сложнейшего мероприятия д.ф.-м.н. профессором В.А Мазуром туман быстро рассеялся. И не смотря на обилие приведенных ангарчанами для своей поддержки "квакеров", типа "насквозь пропитанного ураном" геолога или "специалиста по деловому туризму", им не удалось заболтать проблему и увести дискуссию в сторону.

Этому немало способствовало, прежде всего, присутствие в первой части обсуждения главы областного радиационноэкологического совета, зав. лаб. ИГХ, профессора А.И. Непомнящих, сразу придавшего дискуссии конкретный, предметный характер.

Силы, разумеется, были не равны с самого начала. Из заранее приглашенных докладчиков, со стороны АЭХК, помимо начальника производственно – технологического отдела А.Г. Тетерина и главы пресслужбы Ф.Т. Дрогунова, выступили также зав. лаб. ИГХ А.И. Непомнящих, заслуженный геолог В.П. Зенченко, докторант туристических наук из ИрГТУ В.М. Хромешкин, а также депутат А.Козьмин.

От экологов дали слово только Д.А. Таевскому и М.П. Рихвановой. И все же это – несомненная победа БД и БЭВ: АЭХК вышел, наконец, на диалог с общественностью.

Итак, что же скрывал туман?

1. Перед начальником производственно-технологического отдела АЭХК, А.Г. Тетериным была поставлена почти невыполнимая задача, с которой он, тем не менее, успешно справился: создания иллюзии открытости при почти нулевой выдаче информации. Так и остались без ответа ключевые вопросы:

а) об использовании освобождающихся производственных площадей АЭХК под хранение новых емкостей с ГФУ;

б) о полном количестве ГФУ на АЭХК (даже после просьбы профессора А.И. Непомнящих, который перед этим гарантировал присутствующим радиационную безопасность комбината);

в) о судьбе тетрафторида (ТФУ) урана. в который собираются превращать уже накопленный ГФУ; г) почему ГФУ и ТФУ принадлежат к веществам первого класса опасности;

г) даже точная цифра предельно допустимого давления для контейнеров с ГФУ почему-то вдруг выпала из памяти господина А.Г. Тетерина.

2. При этом, однако, господин А.Г. Тетерин не упускал возможности понадувать перед присутствующими щеки, как специалист по обогащению урана, пиная экологов за очевидные опечатки в (первой) статье "[Господин Гексафторид](#)", о которых уже было все сказано в последующих статьях "[Господин Гексафторид-2](#)", "[Господин Гексафторид-3](#)".

Это выглядело особенно эффектно на фоне, по сути, лишенных слова для ответа, экспертов со стороны БД.

А что же стало ясно в сухом остатке?

1. А стало ясно, что уважаемому господину А.Г. Тетерину все же не удалось не проговориться, в чем основная заслуга принадлежит хозяину Круглого стола, В.А. Наумову, очень удачно задавшему невинный с виду вопрос. Чтобы понять суть дела (ведь дьявол, как всегда, прячется в деталях) посмотрим сперва, чем же, на самом

деле, были надуты щеки специалиста по обогащению урана.

Вот основные физико-химические свойства ГФУ из монографии С. Виллани, "Обогащение урана", в переводе под ред. акад. Кикоина, Энергоатомиздат, 1983.

тимизации конструкции и изготовления оборудования завода для разделения изотопов.

3.3.1. Физические свойства

Физические свойства UF_6 были рассмотрены в обзорах Каца и Рабиновича [3.18], де Витта [3.185] и Шателе [3.186], в которых содержится большая часть данных, опубликованных до 1976 г.

Молекулярные и оптические свойства При комнатной температуре и атмосферном давлении UF_6 представляет собой бесцветное твердое вещество. Монокристаллы UF_6 относятся к ромбической (ортогональной) системе. Их решетка принадлежит пространственной группе симметрии D_{2h}^{16} с постоянными решетками $a = 99,0 \text{ \AA}$, $b = 89,6 \text{ \AA}$ и $c = 52,1 \text{ \AA}$; элементарная ячейка содержит четыре молекулы UF_6 . Октаэдрическая структура молекулы в ней несколько искажена, и положения атомов фтора не эквивалентны. Это искажение обусловлено тем, что в кристаллическом поле молекулы обмениваются своими атомами фтора; это подтверждается данными по ядерному магнитному резонансу (ЯМР) [3.187]. Искажение уменьшается с ростом температуры.

В газовой фазе гексафторид урана не ассоциирован. Молекула UF_6 по структуре принадлежит точечной группе симметрии O_h и имеет форму октаэдра, в котором длина каждой из связей $U-F$ одинакова и равна $0,2 \text{ \AA}$, что следует из данных по колебательным спектрам, диэлектрической проницаемости, электронной дифракции в паровой фазе, а также из согласия результатов определения термодинамических свойств по спектроскопическим данным и теплоемкости.

В жидкой фазе октаэдрическая симметрия, по-видимому, не нарушается. Однако в пластической фазе, промежуточной между жидким и твердым состояниями, нарушение симметрии существует, как показывают данные по ЯМР и рамановским спектрам для UF_6 и других гексафторидов [3.188].

В колебательном спектре молекул UF_6 из шести фундаментальных частот точечной группы O_h две относятся к активным инфракрасным колебаниям ($\nu_2 = 623$, $\nu_4 = 181 \text{ см}^{-1}$), три — к комбинационным (рамановским) колебаниям ($\nu_1 = 637$, $\nu_2 = 535$ и $\nu_5 = 202 \text{ см}^{-1}$) и одна — к неактивным колебаниям ($\nu_6 = 140 \text{ см}^{-1}$). В видимой и ультрафиолетовой областях спектра имеется много электронных уровней.

Критические потенциалы ионизации располагаются в диапазоне от $15,5 \text{ В}$ для UF_6^+ до $50,3 \text{ В}$ для U^+ .

Гексафторид урана в газообразном состоянии парамагнитен. Как показывают точные измерения диэлектрической проницаемости ϵ , сделанные Магнусоном [3.189], гексафторид урана не имеет постоянного электрического дипольного момента; $(\epsilon - 1)$ изменяется от $3,815 \cdot 10^{-3}$ при $28,2^\circ\text{C}$ до $3,226 \cdot 10^{-3}$ при $53,1^\circ\text{C}$.

118

Коэффициенты переноса в газовой фазе. Коэффициент вязкости газообразного UF_6 был измерен методом капилляра при числах Рейнольдса меньше 100 во избежание турбулентности; результаты Майерсона и Эйхера [3.190] были представлены Мартенссоном [3.120] в виде эмпирической формулы (вязкость измеряется в мкпз^*)

$$\eta = 0,8937 T^{0,993} \quad (3.172)$$

В формуле (3.172) применяется коэффициент 0,893 вместо коэффициента 0,6163 [3.185], признанного неправильным Брауном и Мэрфи [3.191], которые предложили заменить его на 0,865, а показатель степени T — на 0,928.

Ранние измерения Левеллина [3.192] приводили к формуле $\eta = 167 \pm 0,44 (T - 273) \text{ мкпз}$, что соответствует значению 0,779 для показателя степени T [3.193]. В эти значения следует внести некоторую поправку, чтобы объяснить новые измерения вязкости азота, который используют как калибровочный газ [3.194]. Недавние данные по вязкости UF_6 [3.195] подтверждают такую поправку к данным Майерсона и Эйхера. Зависимость от T оказывается сильнее, чем в элементарной кинетической теории (где показатель степени T равен 0,500).

В соответствии со сказанным значения проницаемости пористых фильтров по формуле (3.59) и характеристические давления P_0 и P_c , определенные формулами (3.60), (3.66), в случае модели длинных капилляров круглого сечения имеют для UF_6 следующий вид (см. также разд. 3.4.2):

$$\left. \begin{aligned} G &= 6,22 \cdot 10^{-6} (a\delta/l) T^{-1/2} (1 + P/P_0); \\ P_0 &= 17,2 (T^{1,433}/a); \quad P_c = 66,8 (T^{1,433}/a). \end{aligned} \right\} \quad (3.173)$$

В формулах (3.173) G измеряется в $\text{моль}/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$, ΔP — в единицах GGS, P_0 и P_c — в мм рт. ст.^* , радиус пор a — в $\text{\AA}^{\text{***}}$. Значения характеристического давления P_c для пористого фильтра в виде слоя упакованных твердых частиц будет в полтора раза выше, если в качестве a берется гидравлический радиус поры, определенный формулами (3.71), (3.76).

Измерения коэффициента самодиффузии, выполненные Брауном и Мэрфи [3.191], дают для интервала $0-70^\circ\text{C}$ эмпирическую формулу (где результат дается в мкпз):

$$pD_{11} = 1,117 T^{0,925} \pm 3,5\% \quad (3.174)$$

Эта формула дает при 30°C значение на 6% ниже измеренного Неем и Армистидом [3.196]; для числа Шмидта из нее получается

независимо от T $Sc = \eta/\rho D_{11} = 0,78$ вместо 0,73 по Нею и Армистиду. Недавние измерения [3.197] подтверждают формулу (3.174).

- * 1 мкПа = 0,1 мПа · с. — Прим. ред.
- ** 1 мм рт. ст. = 133,322 Па. — Прим. ред.
- *** 1А = 0,1 нм. — Прим. ред.

Коэффициент теплопроводности UF_6 , как показали измерения, представляется формулой [где результат дается в кал*/(см × с · °С)]

$$K = 1,45 [1 + 0,0045 (T - 273)] \cdot 10^{-5}. \quad (3.175)$$

Это значение K согласуется со значением коэффициента вязкости, измеренным Майерсоном и Эйхером, и теплоемкостью C_p (см. ниже). Оно приводит к значению числа Прандтля $Pr = \eta C_p / K = 0,95$, близкому к значению 0,93, вычисленному с поправкой Эйкена по формуле (3.25).

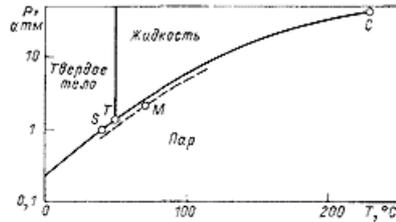


Рис. 3.25. Фазовая диаграмма UF_6 [3.185, 198]. Критическая точка C : $P_C = 1,37$; $T_C = 230$ °С; $P_S = 45,5$. Точка сублимации S : $T_S = 56,5$ °С; $P_S = 1$ атм. Тройная точка T : $T_T = 64,05$ °С; $P_T = 1,50$ атм; M — рабочая точка, безопасная по отношению к конденсации UF_6 .

Эмпирические значения длины свободного пробега в гексафториде урана, вычисленные из экспериментальных данных по вязкости [3.190], теплопроводности [3.185] и самодиффузии [3.191], соответственно равны: $\lambda_v = 2,31$, $\lambda_t = 2,70$ и $\lambda_d = 2,98 \cdot 10^{-6}$ см при 0 °С и атмосферном давлении. Средняя длина свободного пробега зависит от P^{-1} линейно, а от T при заданном значении P по степенному закону с показателем степени 1,433, тогда как в элементарной кинетической теории этот показатель равен единице. Таким образом, характеристические давления пористых фильтров P_0 и P_c , определенные формулами (3.60), (3.66), зависят от T по степенному закону (3.173).

Термодинамические свойства. Фазовая диаграмма гексафторида урана показана на рис. 3.25. Недавние измерения критических параметров [3.198] подтвердили более ранние данные [3.185].

Плотности жидкой и твердой фаз при 65 °С равны соответственно 3,624 и 4,87 г/см³.

Плотность газовой фазы несколько отличается от плотности идеального газа, так как измерения диэлектрической проницаемости, выполненные Магнусоном [3.189] в интервале температур 60—140 °С, дают для UF_6 следующее уравнение состояния:

$$PV(1 + AP) = RT, \text{ или } n = [P/(RT)](1 + AP), \quad (3.176)$$

где $A = 1,233 \cdot 10^6 T^{-3}$ атм⁻¹ **.

- * 1 кал = 4,1868 Дж. — Прим. ред.
- ** 1 атм = 1,013 · 10⁵ Па. — Прим. ред.

В уравнении (3.176) $MP/(RT) = 4,291 P/T$ для UF_6 . При 65 °С коэффициент отклонения от уравнения состояния идеального газа при $P = 1$ атм составляет 1,032. Наилучшее согласие между спектроскопическими и термодинамическими данными, полученными до 1959 г., получается при более высоком значении второго вириального коэффициента $A = 1,377 \cdot 10^6 T^{-3}$ [3.199] и при увеличенном до 1,037 коэффициенте отклонения от идеальности при 65 °С и $P = 1$ атм. Недавние измерения второго вириального коэффициента UF_6 , выполненные Моризо и др. [3.195, 3.197], подтверждают это более высокое значение A , тогда как измерения В. В. Мальшева [3.200] и Хейнца и др. [3.201] говорят в пользу значения A в уравнении (3.176), найденного Магнусоном.

Постоянные в потенциальной энергии межмолекулярного взаимодействия $U(r)$ для гексафторида урана могут быть определены из этих экспериментальных данных с помощью статистической формулы для второго вириального коэффициента при умеренной температуре

$$A = [2\pi N_0/(RT)] \int_0^\infty [1 - \exp\{-U(r)/2kT\}] r^2 dr, \quad (3.177)$$

где N_0 — число Авогадро — Лошмидта. В случае, когда $U(r)$ берется в форме модели (12—6) Леннарда — Джонса (3.27), Моризо и др. [3.195] нашли $\epsilon/k = 430$ К, $\sigma = 0,524$ нм. Эти значения можно сравнить с величинами $\epsilon/k = 439$ К и $\sigma = 0,522$ нм, вычисленными де Маркусом и Старисом [3.194] из измерений вязкости, проведенных Майерсоном и Эйхером. Если для $U(r)$ берется модель Леннарда — Джонса более общего вида, то для отталкивающего потенциала получаются показатели 13,6 и 6 [3.201], причем $\epsilon/k = 617$ К и $\sigma = 0,530$ нм. Постоянные, входящие в потенциальную энергию, были вычислены также для модели Буккингема, Сюзерленда и простого отталкивательного потенциала [3.185, 3.201].

Диаметр молекулы UF_6 оценивается из этих данных равным примерно 0,55—0,6 нм, так что площадь, занимаемая адсорбированной на поверхности молекулой, составляет 0,3—0,35 нм².

Измерения теплоемкости C_p и энтропии S при атмосферном давлении приводят к следующим формулам [в которых эти вели-

чины выражаются в кал/(моль·К) [3.180]:

$$\left. \begin{aligned} C_p &= 32,43 + 7,936 \cdot 10^{-3}T - 32,0680 \cdot 10^{-6}T^{-2}; \\ S &= 74,69 \ln T + 7,935 \cdot 10^{-3}T + 16,034 \cdot 10^{-6}T^{-2} - 98,05. \end{aligned} \right\} (3.178)$$

Зависимость всех термодинамических величин гексафторида урана от температуры и давления может быть также найдена из вириального уравнения состояния (3.176). Паркс и Бертон [3.202] вычислили таблицы для уравнения состояния Магнусона. Из этих таблиц для отношения теплоемкости $\gamma = C_p/C_v$ при 65°C получа-

121

ется (P — давление, атм):

$$\gamma = 1,0659 + 0,00668P \quad (3.179)$$

и для скорости звука при 65°C

$$V_s = (\gamma RT/M)^{1/2} = 92,25 \text{ м/с}. \quad (3.180)$$

Эти значения согласуются с результатами непосредственного измерения сжимаемости и скорости звука.

Энтальпия сублимации составляет 35 кал при 56,5°C и 33,2 кал в тройной точке, где энтальпия парообразования равна 20,1 кал.

Давление сублимирующих паров [3.186] в интервале 0—64°C с точностью до 0,05% воспроизводится формулой (где P выражено в мм рт. ст.)

$$\lg P_s = 6,38363 + 0,0075377t - 942,76/(t + 183,416). \quad (3.181)$$

Давление паров над жидкостью [3.186] в интервале 64—116°C с точностью до 0,03% дается формулой

$$\lg P_s = 6,99464 - 1,126296/(t + 221,963), \quad (3.182)$$

а между 116 и 230°C (с погрешностью до 0,3%) формула приобретает вид:

$$\lg P_s = 7,69069 - 1,683165/(t + 302,148). \quad (3.183)$$

Эти данные по давлению паров считаются надежными [3.186].

Скрытая теплота сублимации Q_s составляет 11,5 ккал/моль вблизи тройной точки. Скрытая теплота парообразования Q_L изменяется от 6,8 ккал/моль в тройной точке примерно до 5,6 ккал/моль при 140°C.

3.3.2. Химические свойства

Обстоятельный обзор данных, полученных ранее 1951 г., был сделан Канем и Рабиновичем [3.18], а более поздние работы вплоть до 1967 г. рассмотрены в обзоре Шателе [3.186].

Энтальпия образования UF_6 очень высока: $\Delta H = -522,6$ (кристалл), или $-510,7$ ккал/моль (газ); UF_6 не диссоциирует до очень высокой температуры.

Гексафторид урана обладает весьма высокой химической активностью. Он проявляет себя как чрезвычайно сильный фторирующий агент даже при комнатной температуре. Поскольку гексафторид урана на практике представляет собой единственное химическое соединение, обладающее большим давлением паров при комнатной температуре, то все его реакции восстановления приводят не только к потерям UF_6 , но и к образованию твердых соединений урана, вызывающих накопление отложений и коррозию в трубопроводах завода, а также забивающих поры в диффузионных фильтрах.

Среди этих твердых соединений урана имеются другие фториды урана. Диаграмма фазового равновесия для фторидов урана

UF_6 , UF_5 (α и β), U_2F_8 , U_2F_{17} и UF_4 была опубликована Агроном [3.203]. Эти фториды могут образовывать комплексные соединения с другими химическими веществами, например комплексы MUF_6 , M_2UF_7 или M_3UF_8 с $M = Li, Na, K, Cs, Rb, NH_4, Ag, Ti, NO \dots$

Гидролиз в присутствии воды происходит мгновенно и обычно приводит к образованию аэрозолей, состоящих из UO_2F_2 , HF и H_2O , с энтальпией реакции $\Delta H = 50,2$ ккал/моль. Если образовавшийся таким образом фтористый водород HF контактирует с окислами, то вода регенерируется, начиная новый цикл разложения UF_6 .

Водород восстанавливает UF_6 , и эта реакция применяется в промышленности для получения из UF_6 твердого тетрафторида урана UF_4 («зеленой соли») при 350°C. При комнатной температуре эта реакция протекает крайне медленно, но может быть ускорена катализаторами [3.204] с образованием HF.

Реакция между UF_6 и углеродом имеет более сложный характер из-за присутствия сорбированной воды. Гексафторид урана медленно проникает в графит, образуя слоистые отложения. Угледороды подвергаются воздействию гексафторида урана с образованием UF_4 , HF и UO_2F_2 , если они были окислены или гидратированы. Потребность в смазках и эластичных материалах для уплотнений и прокладок в каналах привела к бурному развитию химии фторуглеродных и хлоруглеродных соединений.

Большинство окислов подвергается коррозии, за исключением чистой окиси алюминия. В отсутствие HF гексафторид урана реагирует со стеклом очень медленно. Стелянные контейнеры перед наполнением должны быть полностью осушены от адсорбированной влаги.

Большинство металлов также подвергается коррозии. Никель пассивируется слоем хемосорбированного фторида никеля, а алюминий — пленкой окиси алюминия, оба металла и их сплавы (монель, никонель, легкие сплавы) оказались превосходными

конструкционными материалами для оборудования заводов. Малоуглеродистые стали, медь, золото, серебро, платина и индий в этом отношении были бы посредственными материалами. На газодиффузионных заводах малоуглеродистые стали (в случае их применения) покрываются слоем никеля (электролитически или химически) на всех поверхностях, контактирующих с гексафторидом урана. Загрязнения типа осадков сульфидов, силикатов или карбидов реагируют с гексафторидом урана и газообразными продуктами его разложения — F_2 и HF в первую очередь [3.14, 3.18, 3.205].

3.4. ГАЗОДИФфуЗИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Газодиффузионный завод состоит из одного или нескольких прямоугольных каскадов (см. разд. 2.6). Каждый каскад делается из одинаковых ступеней, чтобы реализовать преимущества,

123

Мы видим здесь и фазовую диаграмму, и основные химические реакции, о которых с таким пафосом говорил А.Г. Тетерин. А теперь, обратим внимание на 2-й абзац в пункте 3.3.2. **"UF₆ не диссоциирует до очень высокой температуры"**.

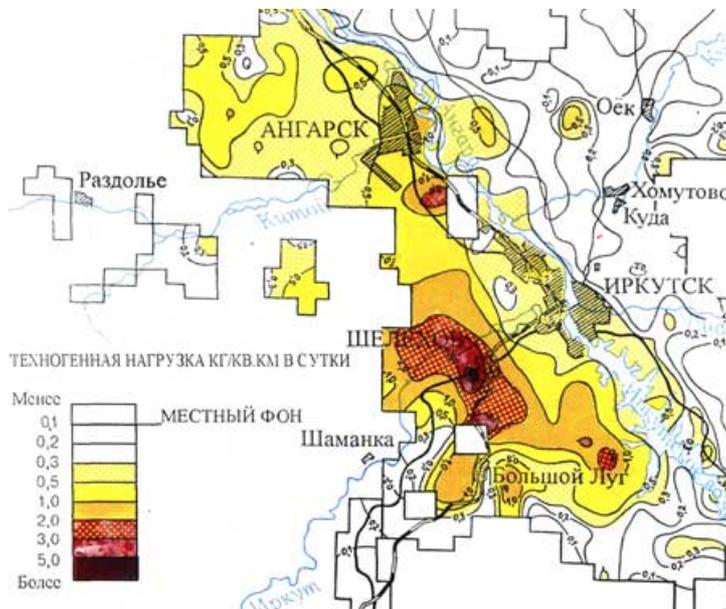
Эта, действительно, довольно высокая температура, была уже оценена нами в работе "Господин Гексафторид-2" (Задача 9). Она имеет прядок 2000K для диссоциации на UF_4 и F_2 , и вполне достижима в случае пожара, вызванного падением самолета. (Как утверждал на том же Круглом столе А.Козьмин, взлетная полоса нового аэропорта пройдет на расстоянии 10-15 км от АЭХК). Однако, господин А.Г. Тетерин, то ли действительно, вовсе не знаком с физхимией высоких температур, то ли просто сделал вид, что не понимает, что речь идет о совсем других реакциях, - тепловой диссоциации, не имеющих никакого отношения к сравнительно низкотемпературным реакциям гидролиза, фторирования, выщелачивания, восстановления, кальцинирования и т.п., сопутствующим процессам обогащения урана.

2. И у нас есть все основания надеяться именно на второе. Ибо, как мы теперь знаем, благодаря вопросу В.А. Наумова, оказывается, на АЭХК то ли строятся, то ли еще разрабатываются установки для создания водяной завесы по периметру площади хранилища, ИМЕННО НА СЛУЧАЙ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ИЗ КОНТЕЙНЕРОВ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ФТОРА, который там надеются таким образом осадить тут же в виде плавиковой кислоты HF (разъедающей даже стекло)! Насколько такая система защиты может быть эффективна для столба раскаленных газов высотой в сотни метров, мы предоставляем Читателю самому поразмыслить на досуге.

Для справки. Самолет Ту-154 содержит такую смесь керосина, кислорода и магния, что сгорает полностью за 10 минут.

Согласно данным метеорологов, газообразный фтор при выбросах с ИрКаза вполне беспрепятственно долетает и обнаруживается в Солнечном.

Именно эти выбросы обеспечивают широкую гамму - от ОРЗ до онкологии, и основной процент заболеваний дыхательных путей жителей Иркутска, Ангарска и Шелехова. Именно об этом просто вопиет и приводимая ниже карта содержания фтора в снегу. А кстати, что это там за черно-красное пятнышко многократного превышения ПДК между Иркутском и Ангарском? Уж не АЭХК ли?... Однако, больше нечему. Это именно АЭХК, дающий, как следует из исследования заслуживающего доверия предприятия "Сосновгеология", 2 килограмма чистого фтора на один квадратный километр в сутки!



Но в количественном отношении выбросы ИрКазы - просто капля по сравнению с тем океаном фтора, что может одновременно освободиться из хорошо подогретых контейнеров АЭХК, как видим, занимающих достаточную площадь для прицеливания даже со спутника.

И последнее замечание. Как явствует из приводимого ниже пункта "Меры ядерной безопасности" из той же монографии С. Виллани, "Обогащение урана",

температуре можно применять низколегированные стали (в контейнерах для гексафторида урана), при умеренной температуре — нержавеющей сталь [3.235]. Отличную стойкость при более высокой температуре имеют сплавы никеля (монель [3.209, 3.224]), большинство сплавов меди и легких сплавов, богатых алюминием [3.236]. Легкие сплавы широко использовались на заводе в Пьерлатте [3.228]. Однако для оборудования больших размеров более дешевыми могут оказаться стали с покрытием из никеля или алюминия. В США применяется гальваническое никелирование [3.21, 3.207], а в Трикастене (Франция) работает большой завод, производящий химическое никелирование [3.181, 3.228]. К хорошим материалам относятся также сильно фторированные пластики, например тефлон (политетрафторэтилен) или политрифторметан [3.225].

Поверхность деталей оборудования должна подвергаться полировке и тщательной очистке, чтобы уменьшить эффективную площадь контакта с UF_6 и удалить следы смазки или других примесей. Здание для очистки и дезактивации оборудования [3.209, 3.237] содержит установки для химической очистки всех материалов перед их применением, а также установки для извлечения и регенерации радиоактивных материалов из оборудования, демонтированного с завода.

Одна из наиболее важных проблем, возникающих при проектировании и строительстве газодиффузионного завода, связана с необходимостью обеспечить почти полное устранение утечки воздуха внутрь оборудования. Необходимо проверять на вакуумную плотность каждый элемент оборудования, а также каждую ступень или каждый блок после сборки. Испытания на вакуумную плотность производятся методом гелиевой масс-спектрометрии, разработанным для обнаружения течей на гексафторидных заводах [3.17] в начале 1940-х годов. Например, гелий вводится в испытуемый элемент оборудования изнутри, и течь обнаруживается благодаря появлению линии гелия в масс-спектре внешней атмосферы [3.234]. Используются и другие методы поиска течей [3.235]. При испытаниях на вакуумную плотность необходимо производить откачку установок мощными диффузионными насосами, работающими на фторированных маслах. Измерения вакуумной плотности элемента оборудования после его откачки производятся путем периодической регистрации приращения давления пробного газа, просачивающегося туда извне. Поскольку для данной течи это приращение давления обратно пропорционально внутреннему объему испытуемого элемента, то единицу натекания, которая не зависит от этого объема, можно определить как приращение в единицу времени произведения внутреннего объема на измеряемое давление [3.28]. Единицей натекания служит $\text{мкм рт. ст.} \cdot \text{л. с.}$ [или $\text{мм рт. ст.} \cdot \text{л. с.}$]. К вакуумной плотности всех узлов контура с технологическим газом предъявляются очень жесткие требования, а именно утечка воздуха не должна превышать 10^{-4} $\text{мкм рт. ст.} \cdot \text{л. с.}$ до монтажа и нескольких

136

единиц, умноженных на 10^{-4} $\text{мкм рт. ст.} \cdot \text{л. с.}$, для контура в целом [3.17, 3.28, 3.236].

Такие низкие скорости натекания достигаются благодаря применению специальных уплотнений между фланцами монтируемого оборудования [3.228]. Композитные металлические уплотне-

ния, разработанные для завода в Иркутске, изготавливались в виде твердого сердечника тороидальной спиральной пружины, покрытого тонкой мягкой оболочкой из меди и алюминия [3.228]. Такая оболочка обеспечивает желаемую степень уплотнения между тороидальным сердечником и двумя фланцами при сжатии. Мелкие трещины на поверхностях фланцев заполняются при деформации оболочки. Вакуумная плотность таких уплотнений соответствует скорости затекания воздуха не более 10^{-5} мкм рт. ст./л. с. [3. 234]. Такие уплотнения позволяют получать вакуумноплотное по отношению к гелию соединение металлов различной природы, таких как сталь и легкий сплав, которые могут иметь различную шероховатость поверхности.

Все элементы оборудования завода должны быть изготовлены в натуральную величину и проверены в работе перед их промышленным производством [3.234]. Единственным смелым и удачным исключением из этого правила был первый завод в Ок-Ридже, который строился в условиях недостатка времени [3.14, 3.20, 3.21].

Меры ядерной безопасности. При проектировании каждого элемента оборудования завода для разделения изотопов урана или пристроенного к нему завода необходимо выбирать геометрическую форму и размеры таким образом, чтобы предотвратить возникновение самопроизвольной цепной реакции как в рабочем состоянии, так и при остановке [3.228]. Критическая масса не должна образовываться нигде как для смесей UF_6 с замедлителем нейтронов (например, с водой), так и для конденсированного чистого UF_6 . Требования безопасности по отношению к возникновению критической массы не накладывают особенно обременительных ограничений на элементы оборудования (за исключением системы теплоотвода) разделительного завода, спроектированного для получения урана сравнительно низкого обогащения, используемого в качестве топлива ядерных реакторов.

Временное хранение гексафторида урана. Для перекачки технологического газа из диффузионных блоков в большие емкости, где он может конденсироваться и вновь испаряться, необходимы специальные установки.

Для обслуживания или ремонта ступени применяются подвижные установки откачки и хранения; блок сначала изолируется от каскада и перед вскрытием системы из него удаляются малейшие следы UF_6 с помощью повторения цикла операций откачки и запуска сухого воздуха [3.207]. Таким способом предотвращаются потери технологического газа, образование порошкообразных фторидов урана и забитие пористых фильтров.

Необходимо также предусматривать меры на случай возникновения критических ситуаций, например частичного или полного

137

предпринятая нами в Задачах 5-8 работы "Господин Гексафторид-2" попытка оценки критической массы ядерного взрыва непосредственно для ГФУ, относится отнюдь не к области фантастики, как утверждают нам с экрана некоторые записные специалисты в области ядерной физики из ИГУ, а к вполне реальной на данном производстве ситуации. Остается лишь надеяться, что хотя бы на самом АЭХК знают об этих ограничениях.

В принятой Росатомом концепции АЭС-2006, из "Бюллетеня по атомной энергии, N2, 2007" указывается, что купол станций нового поколения, - АЭС-2006, должен выдерживать падение самолета. Хранилище ГФУ на АЭХК, как видим, обладает с этой точки зрения, не только радиационной но и до сих пор игнорируемой химической опасностью для окружающего населения, не менее серьезной чем от АЭС.

Поэтому, оно должно быть либо также незамедлительно снабжено аналогичным, причем герметичным куполом, либо перенесено в безлюдную местность, за пределы 200 километровой зоны вокруг Байкала, на расстояние, безопасное для проживания пока еще живущих здесь "полтора молекул", благодаря которым эта территория и считается, пока еще, российской.

Д.А.Таевский, М.П.Рихванова, С.Э.Коренблит, "Байкальское движение"

Карты:

журнал "Волна" N 2 (11) 1997, В.Я.Киселёв "Карты загрязнений снежного покрова в Иркутской области и на Южном Байкале"

Автор: Артур Скальский © Babr24.com ЭКОЛОГИЯ, БАЙКАЛ ☎ 28277 28.04.2007, 17:40 📄 718

URL: <https://babr24.com/?ADE=37519> Bytes: 8692 / 7652 Версия для печати Скачать PDF

[👍 Порекондовать текст](#)

Поделиться в соцсетях:

ДРУГИЕ СТАТЬИ В СЮЖЕТЕ: ["РОСАТОМ И ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА"](#)

Также читайте эксклюзивную информацию в соцсетях:

- [Телеграм](#)

- [ВКонтакте](#)

Связаться с редакцией Бабра:

newsbabr@gmail.com

Автор текста: **Артур
Скальский.**

НАПИСАТЬ ГЛАВРЕДУ:

Телеграм: [@babr24_link_bot](#)

Эл.почта: newsbabr@gmail.com

ЗАКАЗАТЬ РАССЛЕДОВАНИЕ:

эл.почта: bratska.net.net@gmail.com

КОНТАКТЫ

Бурятия и Монголия: Станислав Цырь

Телеграм: [@bur24_link_bot](#)

эл.почта: bur.babr@gmail.com

Иркутск: Анастасия Суворова

Телеграм: [@irk24_link_bot](#)

эл.почта: irkbabr24@gmail.com

Красноярск: Ирина Манская

Телеграм: [@kras24_link_bot](#)

эл.почта: krasyar.babr@gmail.com

Новосибирск: Алина Обская

Телеграм: [@nsk24_link_bot](#)

эл.почта: nsk.babr@gmail.com

Томск: Николай Ушайкин

Телеграм: [@tomsk24_link_bot](#)

эл.почта: tomsk.babr@gmail.com

[Прислать свою новость](#)

ЗАКАЗАТЬ РАЗМЕЩЕНИЕ:

Рекламная группа "Экватор"

Телеграм: [@babrobot_bot](#)

эл.почта: equatoria@gmail.com

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО:

эл.почта: babrmarket@gmail.com

[Подробнее о размещении](#)

[Отказ от ответственности](#)

[Правила перепечаток](#)

[Соглашение о франчайзинге](#)

[Что такое Бабр24](#)

[Вакансии](#)

[Статистика сайта](#)

[Архив](#)

[Календарь](#)

[Зеркала сайта](#)