

М-353

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



2213/2-76

14/VI-76

13 - 9563

А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин, Ж.Ж.Мусульманбеков,
Н.Н.Нургожин

ПРОЦЕСС ПРОДУВА ПРИ ГАЗООБЕСПЕЧЕНИИ
СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ

1976

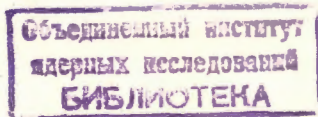
13 - 9563

А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин, Ж.Ж.Мусульманбеков,*
Н.Н.Нургожин*

ПРОЦЕСС ПРОДУВА ПРИ ГАЗООБЕСПЕЧЕНИИ
СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ

Направлено в ПТЭ

* ИФВЭ АН КазССР



Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Мусульманбеков Ж.Ж., 13 - 9563
Нургожин Н.Н.

Процесс продува при газообеспечении стримерной камеры

Проводится анализ динамики процесса продува при газообеспечении стримерной камеры. Рассмотрен электрический аналог камеры и даны его параметры.

Исследуется возможность регулировки времени памяти путем изменения величины протока газа через двухметровую стримерную камеру.

Работа выполнена в ЛВТА и ЛВЭ ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований

Дубна 1976

Основным методом наполнения искровых и стримерных камер большого объема, а также камер малого объема, но с относительно тонкими стенками, является метод продува, т.е. создание через камеру протока рабочего газа.

Уровень загрязняющих примесей в составе газового наполнения камеры зависит от концентрации их во вдуваемом газе и от уровня натекания в камеру компонентов окружающей среды. В большинстве практических случаев наполнения камер окружающей средой является воздух.

Уровень натекания воздуха в камеру определяется степенью ее герметичности и, в основном, зависит от газопроницаемости материалов, применяемых в конструкции камеры. В обычных конструкциях основной причиной загрязнения является натекание в камеру воздуха через тонкие лавсановые стенки.

Концентрация примесей во вдуваемом газе зависит от применяемой схемы газообеспечения. Концентрация достаточно постоянна при использовании паспортизованного промышленного газа, например, неона особой чистоты, и изменяется в процессе работы, если применяется замкнутая циркуляционная система с адсорберами.

Так как характеристики камеры /время памяти, требуемая напряженность электрического поля, геометрические размеры и яркость стримеров/ существенно зависят от уровня содержания примесей в составе газа, представляет интерес рассмотрение изменения концентрации воздуха в камере в процессе продува.

Пусть V_c - объем камеры, Q - величина протока газа, y - концентрация воздуха в камере, y_1 - во вдуваемом газе, $m = \frac{q}{V_c}$ - натекание в камеру воздуха,

/ q - поток воздуха в камеру/, тогда, если считать, что за время dt в камеру попадает $(Qy_1 + V_c m) dt$, а выходит $(Qy + V_c m y) dt$ воздуха, можно составить дифференциальное уравнение

$$y' = m + ny_1 - (m+n)y, \quad /1/$$

где $n = Q/V_c$ - кратность циркуляции газа через камеру. Решением этого уравнения служит выражение

$$y = \frac{m + ny_1}{m+n} + Ce^{-(m+n)t} \quad /2/$$

Здесь t - время, а постоянная C определяется начальными условиями.

Уравнением вида /1/ описываются также переходные процессы в электрических RC-цепях, подобных изображенной на рис. 1а. При этом удобное и наглядное описание процессов наполнения камеры и поддержания в ней заданного состава газа можно провести с помощью электрического аналога продуваемой газом камеры /рис. 1б/. Обозначение и соответствие элементов электрической схемы-аналога ясны из рис. 1. Уровень концентрации основного газа в продуваемом G и его уровень в камере G_c соответствуют величинам напряжения, поступающего на вход электрической схемы U и измеряемого на обкладках конденсатора U_c ; объем камеры V_c - емкости конденсатора C ; величинам протока газа через камеру Q и натекания в нее q - сопротивления заряда R_1 и утечки конденсатора R_2 .

Для относительных величин "недозаряда" конденсатора δU и соответствующего значения концентрации воздуха y в камере при этих условиях можно записать

$$\delta U = \frac{U - U_c}{U} = 1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

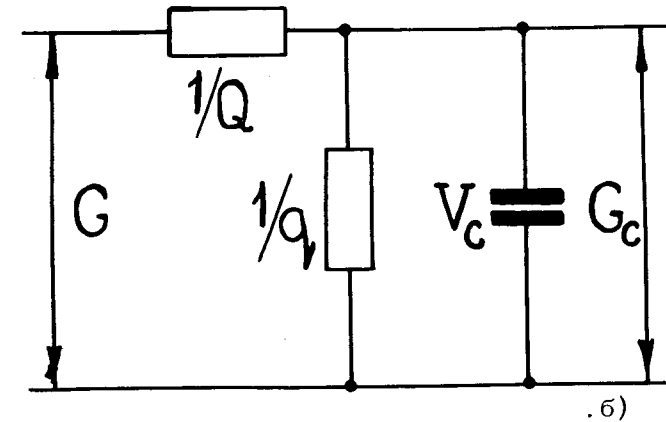
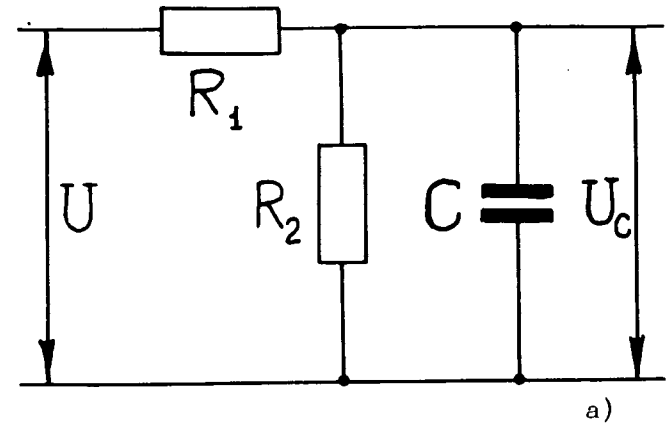


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема RC-цепи /а/ и схема-аналог продуваемой газом камеры /б/.

$$y = \frac{G - G_c}{G} = 1 - \frac{Q}{q + Q} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_c}}) \quad /3/$$

$$\tau = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} C \quad \tau_c = \frac{V_c}{q + Q} \quad /4/$$

где, соответственно, τ - постоянная времени заряда конденсатора, τ_c - постоянная времени установления

определенного уровня концентрации рабочего газа в камере - постоянная времени камеры. Аналогично можно показать, что если на вход камеры поступает рабочий газ с уровнем содержания воздуха y_1 , то его концентрация в камере:

$$y = 1 - \frac{Q(1-y_1)}{q+Q} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_c}}\right) \quad /5/$$

или, в другой форме:

$$y = 1 - \frac{n(1-y_1)}{m+n} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_c}}\right), \quad /6/$$

что соответствует решению уравнения /2/ при начальных условиях: $t=0, y=1$.

Диаграмма изменений концентрации воздуха в камере в зависимости от времени при различных значениях m , n , характерных для определенных стадий продува, приведена на *рис. 2*.

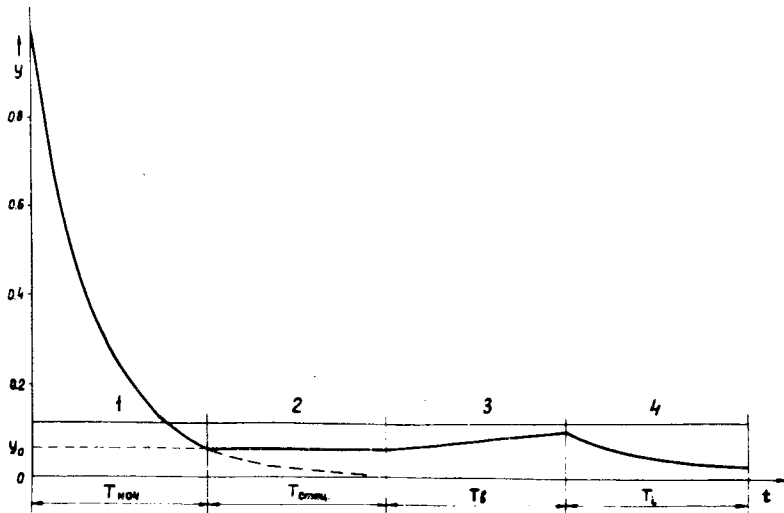


Рис. 2. Диаграмма изменений уровня концентрации воздуха в камере во времени на различных стадиях процесса продува.

Первоначальная замена воздушного наполнения камеры рабочим газом отражается участком 1 диаграммы. Если вдвухаемый газ чист ($y_1=0$) и натекание пренебрежимо мало ($m=0$), то

$$y = e^{-nt} = e^{-\frac{Q}{V_c} t}$$

в соответствии с /1/, т.е. для снижения концентрации воздуха в камере, например, до значения $y_0 = 0,1\%$, требуется пропустить через нее около 7 объемов рабочего газа. При объеме камеры 1000 л и $Q = 350$ л/ч. для этого необходимо 20 ч.

Участок 2 диаграммы соответствует условиям стационарного режима работы, когда концентрация воздуха в камере поддерживается на определенном уровне.

Здесь $y = y_0 = m / (m + n)$; для поддержания $y_0 = 0,1\%$ в камере с объемом $V_c = 1000$ л при реальной величине натекания $m = 10^{-5}$ объемов/ч / $10^{-3} \%$ /ч. / требуется проток газа ($y_1 = 0$)

$$Q = V_c \left(\frac{m}{y} - m\right) \approx 10 \text{ л/ч.}$$

Выключению протока через камеру соответствует участок 3 диаграммы. Нарастание концентрации воздуха в камере происходит по закону

$$y = 1 - (1 - y_0) e^{-t/\tau_{c0}},$$

где y_0 - концентрация в момент выключения. При этом постоянная времени камеры $\tau_c = \tau_{c0} = 1/m$ достигает максимальной величины; значения τ_{c0} для различных m приведены в *табл. 1*. Учитывая кратковременность выключения камеры в рабочих условиях ($t/\tau_{c0} \ll 1$), можно записать:

$$y = y_0 + m t,$$

т.е. рост концентрации при этом происходит линейно. Если, например, допустимо 10%-ное изменение y_0 за время выключения протока T_B , то

$$T_B = 0,1 y_0 / m = 0,1 y_0 \tau_{c0}.$$

Значения T_B , соответствующие этому условию, при $y_0 = 0,1\%$ также приведены в *табл. 1*.

Таблица 1

$m\%/час$	0,05	0,01	0,005	0,001
$\tau_{с0} час$	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
$T_B час$	0,2	1,0	2,0	10,0

Как можно видеть, даже при больших значениях постоянной времени камеры $/10^3 - 10^5 ч /$ время, на которое она может быть выключена $/0,2-10 ч /$, ограничено из-за требуемого высокого уровня чистоты газа в камере $/y < 0,1\%/$.

В процессе продува возможны изменения величины потока. Легко показать, что для очередного i -го изменения его величины уровень концентрации воздуха составит:

$$y_i = (y_{i-1} - \frac{m}{n_i+m}) e^{-(n_i+m)t_i} + \frac{m}{n_i+m},$$

где индексами $i-1$ и i обозначены соответственно состояние системы до и после изменения протока /участок 4 диаграммы/.

Для процесса продува камеры большого объема характерно то, что установление заданного режима с определенным уровнем концентрации натекающего воздуха происходит с большой постоянной времени. Уменьшение постоянной времени камеры с увеличением протока возможно, по-видимому, до определенных пределов - пока газ в камере при продуве равномерно перемешивается и давление в ней не превосходит допустимой величины. Практически максимальные значения протока ограничены уровнем $300-500 л/ч$ ^{2,3/}.

Зная значение натекания воздуха в камеру и концентрацию его во вдуваемом газе, можно заранее установить величину протока рабочего газа, при котором через определенное время установится заданная степень чистоты газа в камере.

Рассмотренная электрическая схема - аналог камеры, продуваемой газом, позволяет в наглядном виде интерпретировать протекающие в ней процессы, связанные с характером изменения концентрации натекаю-

щих извне в камеру примесей. Следует отметить, что эта модель не учитывает эффектов, связанных с наличием застойных зон при продуве, с процессами адсорбции и десорбции газа на стенках камеры. К таким результатам приводит анализ процесса продува газом, уровень загрязнения которого много ниже допустимого по условиям работы камеры. Если камера работает в замкнутой циркуляционной системе с адсорберами, то необходимо учитывать непрерывное изменение уровня загрязнений во вдуваемом газе и здесь, по-видимому, также можно использовать электрические аналоги работающих устройств, например, адсорберов. Этот вопрос требует, однако, отдельного рассмотрения.

Натекание в камеру объемом V_c , с площадью тонких стенок S при толщине лавсана d определяется как ^{2/}

$$m = \frac{k \Delta p S}{d V_c},$$

где k - коэффициент газопроницаемости $/дм^2 / час. атм/$, Δp - парциальное давление $/атм/$.

Для стримерной камеры ^{3/} $S = 2 м^2$, $d = 0,15 мм$, $V_c = 1 м^3$ / натекание было определено из условия стационарного режима продува. При этом уровень концентрации воздуха контролировался с помощью градуированного искрового разрядника системы газообеспечения ^{4/}. Полученная величина натекания - $2 \cdot 10^{-5} объема/ч$ $/2 \cdot 10^{-3} \%/ч /$ приводит к значению $k \Delta p/d = 10^{-4} дм/ч$, совпадающему с данными работы ^{2/}. $-k \Delta p/d = 1,5 \cdot 10^{-4} дм/ч$ при $d = 0,1 мм$.

При таком натекании перекрытие протока на $5 час$ в рабочем режиме повышает концентрацию воздуха в камере на $0,01\%$, а поддержание концентрации его на уровне $0,1\%$ $/ y = 10^{-3} /$ требует протока $Q = 20 л/ч$.

Одной из важнейших характеристик камеры, работающей на ускорителе в пучке достаточно высокой интенсивности, является время памяти, достигающее сотен мкс при наполнении камеры чистыми инертными газами. Практически наиболее простым способом сокращения времени памяти оказывается использование натекающего в камеру воздуха в качестве электроотрицательной примеси, концентрация которого и определяет время памяти камеры. Тогда при постоянном натекании и достаточно

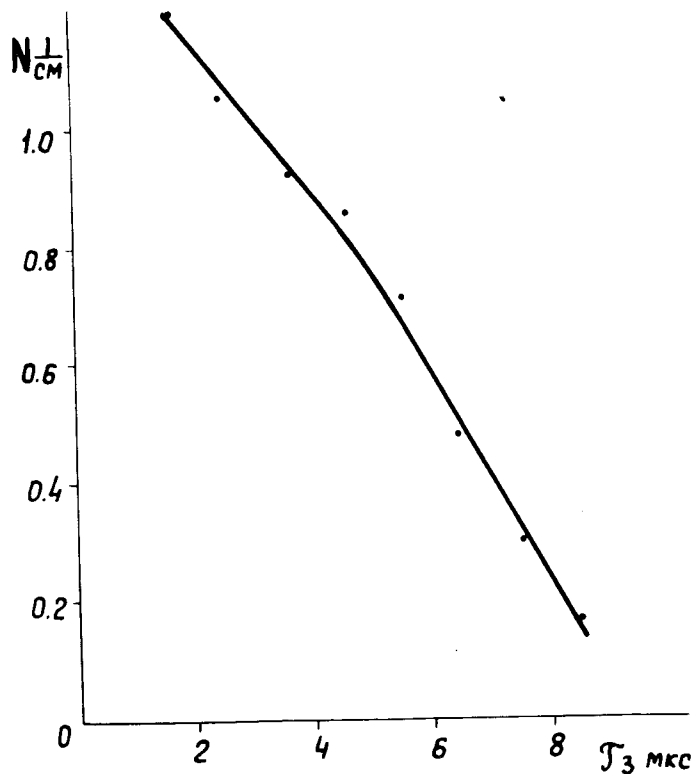


Рис. 3. Зависимость плотности стримеров на следе частицы от времени задержки высоковольтного импульса.

чистом вдуваемом рабочем газе время памяти регулируется простым изменением величины протока. Количественной характеристикой времени памяти стримерной камеры может служить плотность стримеров на единицу длины следа^{/2/}, которая уменьшается при увеличении концентрации воздуха и задержки в подаче высоковольтного импульса на электроды камеры.

На рис. 3 приведены зависимость плотности стримеров от задержки при концентрации $y = 0,18\%$ воздуха в камере^{/3/}, наполненной неоном. При этом практически полное исчезновение трека наблюдалось при задержке 10 мкс.

Как и в работе^{/2/}, заметного ухудшения характеристик следов при повышении концентрации воздуха до 0,2% отмечено не было.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность С.М.Биттибаеву за полезные обсуждения, а также В.Д.Володину, Н.С.Глаголевой, А.И.Завгороднему, Т.Ф.Жмыровой за помощь при проведении экспериментов и обработке его результатов.

Литература

1. В.Г.Фастовский, А.Е.Ровинский, Ю.В.Петровский. *Инертные газы*. Атомиздат, Москва, 1972.
2. F.Bulos, A.Odian, F.Villa and D.Yount. *SLAC-74*, 1967.
3. G.A.Vardenga, V.O.Volodin, N.S.Glagoleva, Y.A.Karzhavin et al. *1973 International Conf. on Instrumentation for High Energy Physics*, pp.157-161, Frascati, 1973.
4. В.М.Белякин, С.М.Биттибаев, Ю.П.Мальков, Е.А.Матюшевский и др. *Препринт ОИЯИ, 13-7878*, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 февраля 1976 года.