

С. М. ИСААКЯН

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКЦИОННОЙ КАМЕРЫ С ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ ПРИ ТЕЧЕНИИ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ ПО СТЕНКАМ

1. Газовые массы, имеющие температуру 2100–1800 С, с большой скоростью входят в вертикальную, цилиндрическую реакционную камеру, расширяясь в поперечном сечении ( $d_1, d = 0,2 - 0,8$ ) и через очень короткое время ( $\tau = 0,03 - 0,001$  сек) оставляют ее пределы. Для защиты от перегрева по стенкам реакционной камеры в направлении газового потока (сверху—вниз) течет тонкий слой жидкости с погонным расходом  $q$ . Давление в аппарате атмосферное. Для сохранения непрерывности пленки скорость жидкости не может превзойти определенные пределы. Имея ввиду контактное движение газового потока и жидкости при указанных выше скоростях газа, ожидается нарушение непрерывности жидкой пленки, срыв и унос частиц жидкости газовым потоком, что по условиям работы аппарата не допустимо.

Срыв и унос частиц жидкости будет зависеть как от толщины пленки (или погонного расхода жидкости), так и от скорости газового потока. При этом, с увеличением расхода жидкости уменьшается величина допустимой скорости газа [1]. Целесообразные для реакции скорости газового потока могут быть нецелесообразными с точки зрения сохранения водяной пленки, необходимой для защиты стен камеры от перегрева, если учесть теплопередачу от газовой струи и от пленки во внешнюю среду через стены камеры. Скорости же газовой струи, доходящие до поверхности водяной пленки зависят как от входных скоростей газа, так и от геометрических параметров камеры [2], поэтому необходимо исследование движения жидкой пленки по вертикальным стенкам камеры в зависимости от входных скоростей газового потока, геометрических параметров камеры, а так же погонного расхода жидкости. Такое исследование выполнено в нижеприведенной работе. Предполагается, что выбор оптимальных параметров аппарата не нарушается от variations температуры\*.

2. В вертикальный цилиндрический аппарат через входное отверстие поступает газовый поток, направленный вниз, расширяясь до сечения аппарата. Одновременно под действием силы тяжести вода тонким слоем течет по стенке. Вследствие разности скоростей во вни-

\* Опыты, произведенные в лаборатории ИТП АрмНИИХИМПРЕКТ, полностью подтвердили полученные здесь результаты.

как силы трения как между стенкой и жидкостью, так и между жидкостью и газом. В поперечном сечении пленки образуются вихри, которые в режимах, характеризуемых числом Рейнольдса  $Re < 20-30$ , не нарушают гладкую поверхность пленки. При  $Re > 30-50$  возникают волны на поверхности жидкости, и помимо поступательного движения частицы жидкости получают также поперечные колебания [3, 4]. При увеличении скорости жидкости достигается турбулентный режим движения. При волновом-турбулентном режиме от большого градиента скорости в поперечном сечении образуются вращающиеся комки жидкости, которые катятся вниз по стенке наподобие катящихся волн при сверхзвурном движении в бы-строходах [5]. Это происходит тогда, когда инерционные силы пре-вышают капиллярные и поверхность жидкости теряет непрерывность. Обтекание этих комков газовым потоком вызывает отталкивающие от стенки силы Магнуса, которые растут вместе со скоростью обтека-ния и при достижении определенного критического значения выбра-сывают комки в газовый поток.

На основании имеющихся теоретических и экспериментальных работ [6-9] в [1] получено безразмерное уравнение, связывающее критические скорости газового потока с расходом жидкости

$$\frac{w_{cr} \sqrt{\gamma''}}{\sqrt{g \delta^3 (\gamma' - \gamma'')}} \approx 7.0 \left[ \frac{q (\gamma' - \gamma'')^2}{R^2 \delta^3} \right]^{-0.25} \quad (1)$$

где  $w_{cr}$  — скорость газа, при которой начинается срыв пленки;

$\gamma'$  и  $\gamma''$  — удельные веса газа и жидкости;

$g$  — ускорение силы тяжести;

$\delta$  — поверхностное натяжение жидкости;

$q$  — расход жидкости на единицу длины смоченного параметра.

Коэффициент и показатели степени в формуле (1) получены на основании данных опытов в круглых трубах [10]. Толщину пленки при ее турбулентном движении можно определить по формуле [7]:

$$Re = \frac{q}{g \nu'} \approx \sqrt{\left\{ \frac{g \delta^3}{\nu'^2} \left( 1 - \frac{\gamma''}{\gamma'} \right) \right\} 11.6 + 2.5 \left| \ln \left( \frac{1}{11.6} \times \right. \right.} \\ \left. \left. \times \sqrt{\frac{g \delta^3}{\nu'^2} \left( 1 - \frac{\gamma''}{\gamma'} \right) - 1} \right) \right\}} \quad (2)$$

где  $\nu'$  и  $\nu''$  — динамический и кинематический коэффициенты вязкости жидкости;  $\delta$  — толщина пленки.

3. С целью определения скорости газа у поверхности касания с жидкостью исследуем кинематическую структуру газового потока и реакционной камере.

В зависимости от степени расширения газового потока при вхо-де в камеру  $d_{in}/d$  и относительной длины аппарата  $L/d$  возможны следующие кинематические схемы движения газового потока (рис. 1):

$l < L$ , где  $l$  — длина застойной зоны;  $L$  — длина аппарата, т. е. газовая струя пересекает стены камеры в ее пределах;

$l = L$ , т. е. струя достигает стен камеры в ее конечном сечении;

$l > L$ , т. е. струя газа выходит из камеры, не коснувшись ее стен.

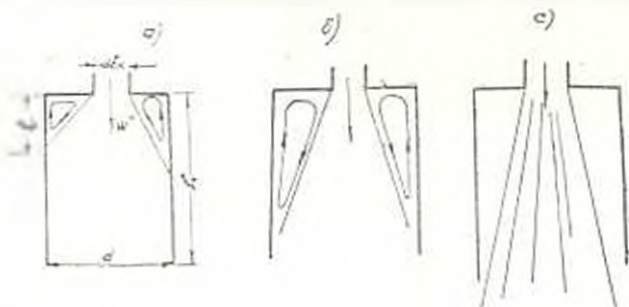


Рис. 1. Три возможные кинематические схемы движения газа.

Турбулентные газовые струи исследованы многими авторами, работы которых в основном подытожены в [10] и [11]. Растекание же газовой струи в области ограниченной ширины мало исследовано. Здесь надо отметить решение [12] для плоского и осесимметричного потоков. Принимая распределение скоростей у входа в камеру равномерным, для осесимметричной задачи получено решение, представленное на рис. 2 [12]. Здесь приведена кинематическая структура газового потока в камере при  $d_{\text{вх}}/d = 0,4, 0,6; 0,8$ .

Как видно из рис. 2, струя газа, расширяясь за входом в камеру, достигает стен камеры на некотором расстоянии  $l$  от входного сечения. До пересечения струи со стенками образуется водоворотная зона между струей и стенками камеры. Длина этого участка в долях диаметра камеры, вычисленная В. М. Селезневым [13, 14], приводится на рис. 3. Здесь же наложены экспериментальные точки разных авторов, которые показывают хорошую сходимость с теоретической кривой.

Скорости в водоворотной зоне достигают больших размеров у стенки камеры, которые могут уносить жидкость со стенки. На некотором расстоянии  $l$  большем, чем длина водоворотного участка, устанавливается примерно средняя скорость газового потока. Эти величины в зависимости от степени расширения струи у входа в камеру  $d_{\text{вх}}/d$  представлены в табл. 1 и на рис. 4.

Таблица 1

$\frac{d_{\text{вх}}}{d}$	0,4	0,6	0,8
$\frac{2l_1}{d}$	6,0	5,0	4,0
$\frac{w_{\text{вх}}}{w_{\text{ст}}}$	-1,12	-0,78	-0,55

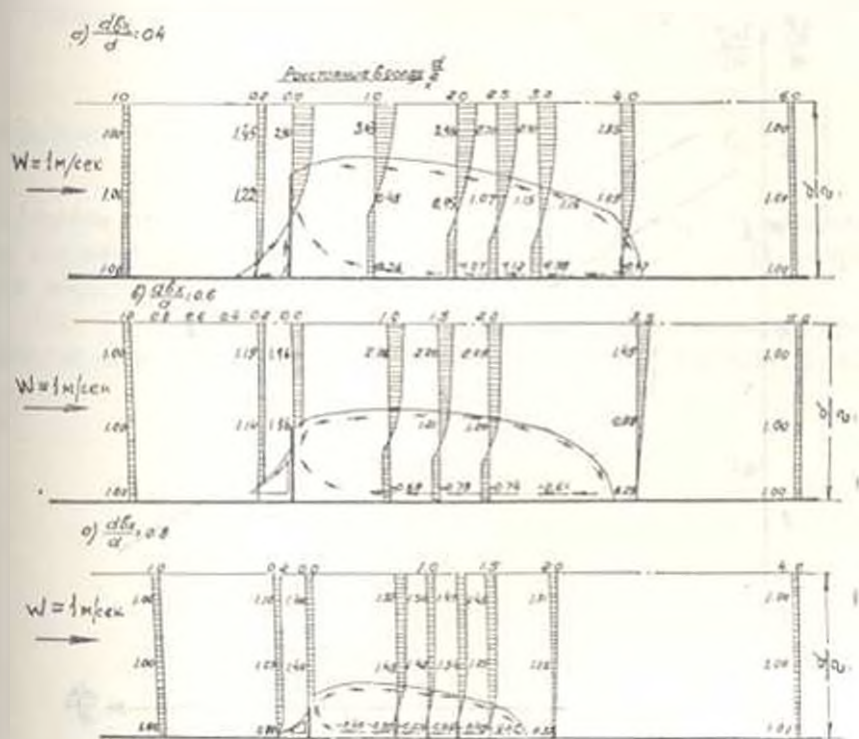


Рис. 2. Поле скоростей при растекании газовой струи в области ограниченной ширины.

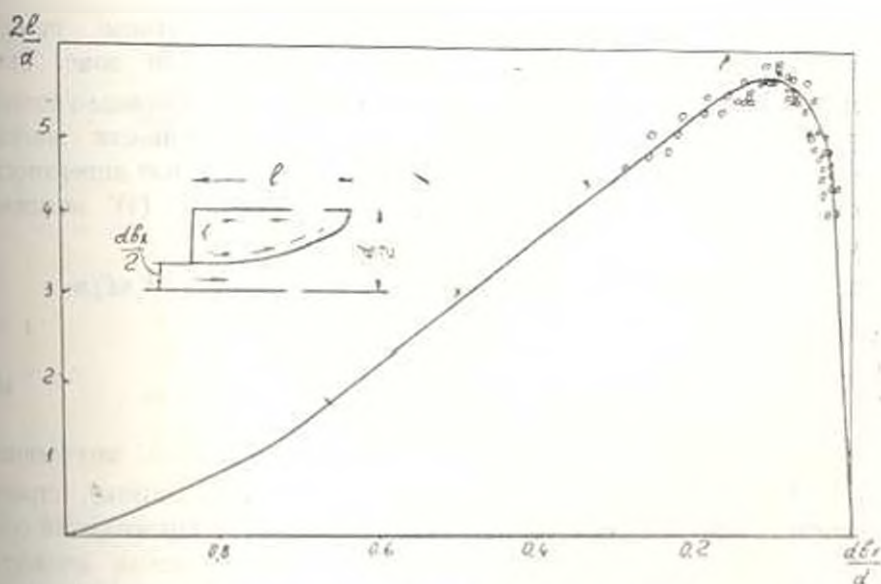


Рис. 3. Экспериментальная проверка зависимости длины водоворотной зоны от степени расширения сопла: — по расчету, о — по опытам Рахманова, х — по опытам Физмана.



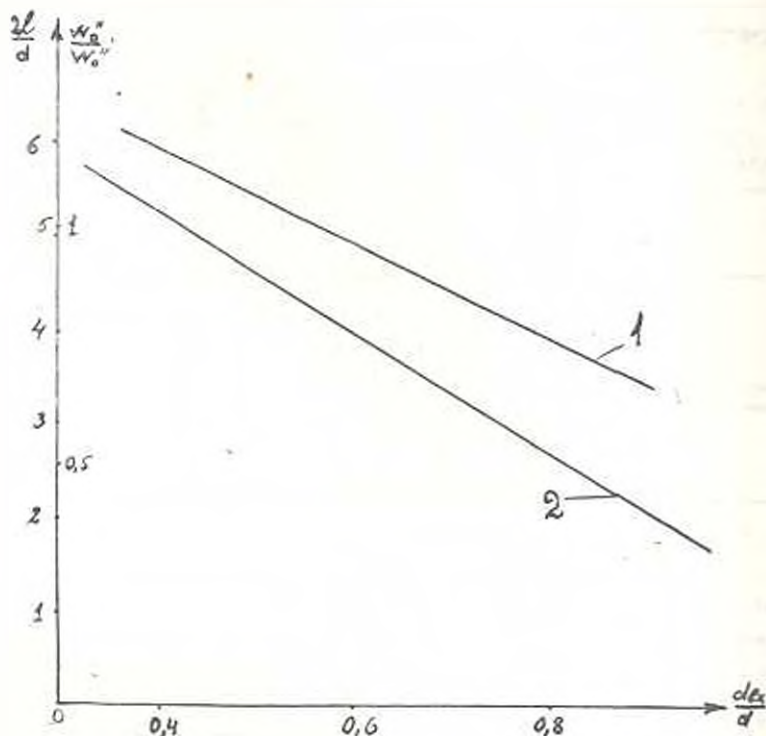


Рис. 4. Зависимости: 1)  $\frac{\delta l}{d} = f_2\left(\frac{d_{ox}}{d}\right)$ , 2)  $\frac{w^*}{w_0} = f_1\left(\frac{d_{ox}}{d}\right)$ .

Здесь  $w_0^*$  — средняя скорость газа в равномерном потоке,  $w_{max}^*$  — максимальная скорость у стенки в водоворотной зоне. Знак минус показывает направление, обратное движению основного потока.

4. Как было отмечено в п. 2, условие устойчивости жидкой пленки при относительном движении газа на ее свободной поверхности характеризуется уравнением (1). При подстановке в (1) заданных значений

$$\gamma'' = 0,624 \text{ кг/м}^3, \quad \gamma' = 973 \text{ кг/м}^3, \quad \sigma = 63,546 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}$$

получим

$$q = \frac{457}{w_{max}^*} \quad (3)$$

Пользуясь значениями  $w_{max}^*$  на поверхности пленки, полученными в п. 3 при заданных средних скоростях газового потока, строим зависимость (3) для трех случаев отношения  $d_{ox}/d$ . Пренебрегая скоростью пленки, в первом приближении определяем расход жидкости  $q$  для заданных средних скоростей  $w_0^*$  газа и для соответствующих им максимальных скоростей  $w_{max}^*$ . По этому значению  $q$  определяем толщину пленки  $\delta$  по (2) при средних и максимальных значениях скорости газа.

Скорость движения жидкой пленки определяем по формуле

$$w' = \frac{q}{\delta} \quad (4)$$

По разности скоростей газа и жидкости

$$w_{\text{отн}} = w_0' - w' \quad (5)$$

определяем относительную скорость газа для средних и максимальных значений  $w$ , и во втором приближении по формуле (1) определяем допустимый расход жидкости  $q$ .

Рис. 5 показывает, что допустимые расходы жидкости сильно падают по мере увеличения скорости газа в камере. Причем, функция

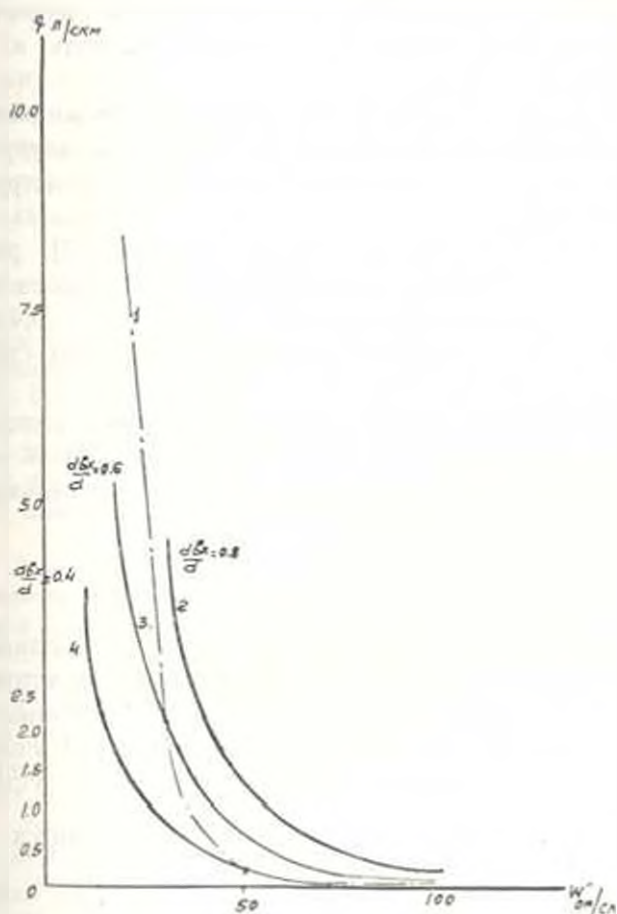


Рис. 5 Зависимость  $q = f\left(w', \frac{d_{\text{отн}}}{d}\right)$ . 1 — в циркуляционной зоне;

2, 3, 4 — в циркуляционной зоне при  $\frac{d_{\text{отн}}}{d} = 0,8; 0,6; 0,4$

$q = f(w)$  сильно зависит от величины  $d_{\text{отн}}/d$ . Наибольшая обеспеченность устойчивости пленки при тех же расходах жидкости получается при  $d_{\text{отн}}/d = 0,8$ . Допустимые скорости газа резко падают в преде-

лах  $w_0 = 30-40$  м/сек. Имея ввиду, что в камере средние скорости устанавливаются за пределами  $2l_1/d$  (рис. 4), можно предположить, что они могут быть не достигнуты в пределах камеры. Тогда расчетными для сохранения пленки жидкости должны быть максимальные значения скорости в водоворотной зоне. Но они значительно меньше средних скоростей газа в случае  $d_{\text{max}}/d > 0,6$ . Тогда с точки зрения увеличения обеспеченных расходов жидкости при  $d_{\text{max}}/d > 0,6$  лучше иметь небольшую длину камеры. Если потребная длина камеры будет больше  $2l_1/d$  и  $d_{\text{max}}/d < 0,6$ , расход жидкости ограничивается скоростью в циркуляционной зоне.

Таким образом, по рис. 5 можно в первом приближении подобрать невыгодные размеры аппарата для нужных скоростей газа и расхода жидкости, а во втором приближении уточнить их величины по формулам (2), (4) и (5).

5. С целью получения максимальных расходов жидкости с устойчивым режимом необходимо тщательно сглаживать внутреннюю поверхность камеры и входное отверстие жидкости конструировать с плавным переходом.

Здесь уместно отметить, что В. А. Шаумян [15], рассматривая истечение жидкости из-под щита для получения безволнового режима, предлагает округлить кромку щита радиусом  $r = 0,4a$  ( $a$  — высота открытия щели) с доведением живого сечения до степени максимального сжатия струи — 0,6.

На основании приведенного анализа приходим к выводу, что для обеспечения механической устойчивости волняной пленки в реакционной камере нужно придерживаться следующих оптимальных геометрических параметров реакционной камеры:

$$\frac{d_{\text{max}}}{d} \approx 0,8, \quad \frac{L}{d/2} < 6.$$

Во избежание полнообразования на пленке необходимо предотвратить сжатие или расширение втекающей в камеру струи соответствующими конструктивными мероприятиями. Допустимые средние скорости газа в камере при данном расходе жидкости в пленке определяются по формуле (1), если длина камеры больше установленной по рис. 4  $\left(\frac{L}{d/2} - f\left(\frac{d_{\text{max}}}{d}\right)\right)$ . Когда длина камеры находится в пределах, установленных кривой рис. 4, то соответствующие максимальные скорости газа у контакта с жидкой пленкой определяются по второй кривой этого же рисунка. Как видно из этой зависимости (рис. 4), скорость газа у контакта двух сред не достигает величины средней скорости в камере при  $d_{\text{max}}/d > 0,4$ , а потому соответствующим расчетом по зависимости (1) можно при желании увеличить допустимый расход жидкости с устойчивой пленкой.

## II. Դ. ԻՍԱՀԱԿՅԱՆ

ԳԱԶԱՅԻՆ ՀՈՍՔՈՎ ԻՑԱԿՑԻՈՆ ԿԱՄԵՐԱՅԻ ՕՊՏԻՄԱԿ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ  
ԸՆՏՐՈՒՄԸ՝ ՊԱՏԵՐԻ ՎՐԱՅՈՎ ՀԵՂՈՒԿԻ ԲԱՐԱԿ ԹԱՂԱՆԹ ՀՈՍԵՆԻՍ

## Ա մ փ ո փ ո ս մ

Աշխատությունը կատարված է պիրոլիզային վառարանի գազային կամե-րայի հիդրո-գազադինամիկական հաշվարկի կապակցությամբ՝ երբ կամերայի պատերի պազենցումը կատարվում է ջրով: Ապարատի պատերը տարացումից պաշտպանելու նպատակով, նրա շտիկերն ու գազի արագությունը պետք է անպակս ընտրվեն, որ պահպանվի պատերի վրայով հոսող հեղուկի բարակ թաղանթը:

Պազի շիթի լայնացումը սահմանափակ տիրույթում գիտելով, առաջարկություններ են արված մուտքի մոտ գազի շիթի լայնացման աստիճանի և ապարատի երկարության ընտրման վերաբերյալ: Օգտվելով [1]-ի տվյալներից, որոշված է գազի թուլլատրելի միջին արագությունն ապարատում՝ կտրված հեղուկի զծային ծախսից:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кутателадзе С. С., Сорокин Ю. Л. О гидродинамической устойчивости некоторых газожидкостных систем. Со. Вопросы теплоотдачи и гидравлики двухфазных сред, ГЭИ, 1961.
2. Балакин В. В., Селазнев В. М. К расчету скоростного поля за полузапрудой. Тр. ЛВТИ, т. 26, стр. 42, 1959.
3. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика, 1959.
4. Семенов П. Течение жидкости в тонких слоях. ЖТФ, 14, в. 7—8, 1944; 20, в. 8, 1950.
5. Гамбарин А. О., Манцян П. П. К исследованию воли на быстротоке. Тр. I конф. посв. энергетике, гидравлике, метеорологии—гидрологии, 1960.
6. Кутателадзе С. С., Стырикович М. В. Гидравлика газожидкостных систем, 1959.
7. Фрадков А. Б. Течение жидкости в тонких пленках. «Кислород», 2, 1947.
8. Капица П. Л. Волновое течение тонких слоев вязкой жидкости. ЖЭТФ, т. 18, в. 1; т. 19, в. 2, 1948.
9. Сорокин Ю. Л. Об условиях устойчивости жидких пленок при взаимодействии с вотоком газа, 1960.
10. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй, 1960.
11. Бой Ши-И. Теория струй, 1960.
12. Кановалов И. М. Тр. ЛВТИ, т. 24, 1947.
13. Селазнев В. М. ЛВТИ, Методика расчета выправительных сооружений на судоходных реках, 1959.
14. Балакин В. В., Селазнев В. М. Некоторые вопросы гидравлики потока на уча. стках расширения, 1960.
15. Шаумян В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений, стр. 467, 1948.