

**Тищенко Иван Александрович**

**Основные процессы и аппараты  
химической технологии**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3  
ББК 84-4  
И17

И17 **Иван Александрович Т.**  
Основные процессы и аппараты химической технологии / Тищенко Иван Александрович –  
М.: Книга по Требованию, 2024. – 240 с.

**ISBN 978-5-519-76913-6**

**ISBN 978-5-519-76913-6**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2024  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг — не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель — вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания — решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Такимъ образомъ, паръ теперь имѣетъ значеніе преимущественно какъ центральный источникъ силы. Давленіе пара перерабатываютъ въ электрическую энергію и въ мѣстахъ потребления пользуются уже этой послѣдней, какъ вторичнымъ, промежуточнымъ, источникомъ механической силы.

Въ качествѣ источника тепла паръ и до настоящаго времени не потерялъ своего первостепеннаго значенія. Неоднократно дѣлались и дѣлаются попытки и въ этомъ отношеніи замѣнить паръ электрическимъ токомъ, но такая замѣна до сихъ поръ еще не представляетъ сравнительно существенныхъ выгодъ.

Въ прежнее время въ химическихъ производствахъ обогрѣваніе сосудовъ производилось г о л ы м ъ о г н е м ъ . Обогрѣваемые сосуды ставились на приспособленныхъ для нихъ печахъ, въ которыхъ сжигалось топливо. Такихъ печей требовалось столько, сколько сосудовъ необходимо было подогрѣвать. Не говоря уже о невыгодности устройства многихъ и разнообразныхъ топковъ, такой способъ обогрѣванія долженъ былъ давать значительныя потери тепла и топлива и требовать значительнаго количества рабочихъ рукъ. Подобно централизаціи источниковъ силы въ одной центральной паровой машинѣ и здѣсь постепенно назрѣла необходимость устройства центрального источника тепла. Таковымъ явился п а р о в о й к о т е л ъ , дающій прямой паръ высокаго давленія и высокой температуры, а также паровая машина или турбина, дающая мятый паръ сравнительно низкой температуры.

Однимъ изъ наиболѣе древнихъ крупныхъ химическихъ производствъ являются солеварни, гдѣ требуется выпаривать большія массы воды. Но примѣненіе пара, какъ источника тепла, впервые было использовано не въ этой отрасли химической промышленности. Солеварни въ Германіи и въ другихъ странахъ долгое время были монополизированы, что сильно тормозило въ нихъ развитіе химической техники. Нагрѣваніе паромъ въ крупномъ масштабѣ впервые было примѣнено въ Сахарномъ производствѣ, требующемъ также значительныя количества тепла для выпариванія громадныхъ массъ воды.

Примѣненіе въ химическихъ производствахъ пара въ качествѣ источника тепла принесло громадныя выгоды и удобства. Во многихъ случаяхъ оказалась возможной централизція нѣсколькихъ топокъ, устранена была опасность пожара, явилась возможность имѣть постоянную температуру источника тепла и измѣнять эту температуру въ извѣстныхъ предѣлахъ по желанію и, наконецъ, примѣненіе пара дало возможность значительно уменьшить потери тепла и топлива, что принесло большія выгоды. Потери тепла уменьшаются съ одной стороны тѣмъ, что, проводя паръ къ обогреваемымъ сосудамъ, принимаютъ мѣры противъ пониженія температуры и давленія пара въ паропроводахъ и противъ охлажденія обогреваемыхъ сосудовъ извне. Для этой цѣли, какъ весь паропроводъ, такъ и обогреваемые сосуды, тщательно одѣваютъ теплопроводнымъ матеріаломъ - изоляціей. Съ другой стороны, чтобы не

терять теплоты въ отходящихъ дымовыхъ газахъ и конденсаціонныхъ водахъ, имѣющихъ высокую температуру, этими горячими водами питаютъ паровой котель, а теплоту дымовыхъ газовъ утилизируютъ или для нагрѣванія питательной воды или для перегрѣва самого пара или, наконецъ, для иныхъ нагрѣвательныхъ цѣлей.

Такъ какъ давленіе насыщеннаго пара растеть съ увеличеніемъ его температуры, то въ случаѣ нужды имѣть высокую температуру, мы должны или пользоваться насыщеннымъ паромъ высокаго давленія или же примѣнять перегрѣтый паръ. Такъ какъ паровые котлы строятся для давленій не свыше 20 атм., что соотвѣтствуетъ температурѣ насыщеннаго пара въ 211,3° С. то при необходимости имѣть болѣе высокую температуру можно пользоваться только перегрѣтымъ паромъ, температура коего можетъ быть доведена до 500° С. Выше этой температуры кончается область примѣненія пара, какъ источника тепла, каковымъ съ этого момента является уже голое пламя.

Въ нашу задачу войдетъ, главнымъ образомъ, разсмотрѣніе тепловыхъ явленій въ парахъ насыщенныхъ и перегрѣтыхъ. Но т.к. при этомъ неоднократно придется касаться и дымовыхъ газовъ, также примѣняющихся въ качествѣ источника тепла и т.к., кромѣ того, перегрѣтый паръ по своимъ свойствамъ занимаетъ промежуточное мѣсто между насыщеннымъ паромъ и газомъ, то въ настоящемъ отдѣлѣ необходимо будетъ коснуться также важнѣйшихъ тепловыхъ явленій и въ газахъ.

## О С Н О В Н Ы Я П О Н Я Т И Я .

### Г А З Ы .

Газообразное тѣло представляется наиболѣе простымъ во всѣхъ отношеніяхъ. Соответственно несложности внутреннего строенія газовъ и законы, управляющіе тѣми явленіями, которыя происходятъ въ газахъ, сравнительно несложны. Газы обладаютъ слѣдующими характерными свойствами :

1. Газы представляютъ весьма малое сопротивленіе всякой внѣшней причинѣ, стремящейся измѣнить ихъ форму безъ измѣненія объема.

2. Газы представляютъ сравнительно небольшое сопротивленіе всякой внѣшней причинѣ, стремящейся уменьшить ихъ объемъ.

3. Газы, не подверженные внѣшнимъ вліяніямъ, равномерно наполняютъ весь предоставленный имъ объемъ, производя на поверхность тѣла, ограничивающаго этотъ объемъ, определенное давленіе, называемое у п р у г о с т ь ю газа.

4. Два газа, химически не дѣйствующіе другъ на друга, будучи помѣщены въ произвольныхъ относительныхъ количествахъ въ одномъ сосудѣ, проникаютъ другъ въ друга, смѣшиваясь въ тѣло, однородное во всѣхъ частяхъ.

Кромѣ этихъ признаковъ, прямо бросающихся въ глаза, газы обладаютъ еще слѣдующими свойствами :

1. Газы приблизительно слѣдуютъ закону Б о й л я -

**М а р і о т т а :** упругость данного количества газа при неизмѣнной температурѣ мѣняются обратно пропорціонально его объему.

2. Газы приблизительно слѣдуютъ закону Г э - Л ю с с а - к а , по которому объемъ  $v$  данного количества газа при температурѣ  $t^{\circ}$  и объемъ  $v_0$  при  $0^{\circ}$  при постоянномъ давлении связаны равенствомъ  $v = v_0 (1 + \alpha t)$ , гдѣ для всѣхъ газовъ  $\alpha = 0,00366$ .

3. Газы приблизительно слѣдуютъ закону А в о г а д р о : въ одинаковыхъ объемахъ всѣхъ газовъ при одинаковой температурѣ и давлении заключается одинаковое число молекулъ.

4. Газы приблизительно удовлетворяютъ условію отсутствія внутренней работы при измѣненіи объема, другими словами, спѣпленіе между частицами въ нихъ очень мало.

Всѣ существующіе " р е а л ь н ы е " газы не удовлетворяютъ вполне ни одному изъ указанныхъ законовъ. Отступленія отъ этихъ законовъ для всѣхъ газовъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе газы къ состоянію сжиженія. Для однихъ газовъ эти отступленія больше, чѣмъ для другихъ. Мы можемъ представить себѣ нѣкоторый фиктивный, повидимому, не существующій газъ съ абсолютной точностью удовлетворяющій законамъ Воиля-Мариотта, Гэ-Люссака, Авогадро и между частицами котораго не существуетъ никакого спѣпленія. Такой газъ называется " и д е а л ь н ы м ь " или совершеннымъ.

Изъ газовъ, имѣющихъ з н а ч е н і е в ь т е х н и -

к ѣ , укажемъ на кислородъ, азотъ, водородъ, окись углерода, метанъ, углекислый газъ, а также газовыя смѣси: воздухъ, свѣтильный газъ, генераторный газъ, дымовыя газы.

Всѣ эти газы и газовыя смѣси въ обыкновенныхъ предѣлахъ температуры сохраняютъ свое агрегатное состояніе и никогда не встрѣчаются въ природѣ ни въ жидкомъ состояніи, ни въ видѣ тумана.

### П А Р Ы .

НАСЫЩЕННЫЙ. Въ противоположность идеальному газу пары, насыщающіе пространство, совершенно не подчиняются законамъ Вояля-Маріотта и Гэ-Льюссака. Ихъ упругость является функцией только одной температуры. Сжимая насыщенный паръ изотермически, мы заставимъ его отчасти конденсироваться, при чемъ упругость останется постоянной. Такимъ образомъ агрегатное состояніе насыщенныхъ паровъ, въ противоположность газамъ, является неустойчивымъ. По существу насыщенные пары представляютъ собой газы, охлажденные ниже критической температуры, т.е. той температуры, при которой и ниже которой газы могутъ сжиматься однимъ только сжатіемъ.

Въ т е х н и к ѣ имѣютъ значеніе насыщенные пары: воды, амміака, углекислоты, сѣрнистаго ангидрида, нефти, керсина, бензина, спирта метиловаго и этиловаго.

СУХОЙ И ВЛАЖНЪЙ. Вслѣдствіе неустойчивости агрегат-

наго состоянія насыщенный паръ почти никогда не бываетъ сухимъ, т.е. свободнымъ отъ большаго или меньшаго количества мельчайшихъ капелекъ жидкости. Обыкновенно, насыщенный паръ представляетъ собою смѣсь различныхъ количествъ сухого насыщеннаго пара и капель жидкости, равномерно распределенныхъ по всей массѣ пара. Такая смѣсь называется "влажнымъ" и, въ случаѣ значительнаго содержанія жидкости, "мокрымъ" паромъ.

НЕНАСЫЩЕННЫЙ ИЛИ ПЕРЕГРѢТЫЙ. Невозможно провести въ строго научномъ смыслѣ границу между перегрѣтымъ паромъ и реальнымъ газомъ. Разница между ними не качественная, а количественная. Перегрѣтые пары жидкостей, существующихъ въ природѣ, въ отличіе отъ газовъ, сравнительно легко могутъ переходить въ пары насыщенные. Критическая температура перегрѣтыхъ паровъ лежитъ въ сравнительно узкихъ пределахъ легко достигаемыхъ нами температуръ. Въ состояніи перегрѣва пары слѣдуютъ въ большей или меньшей степени тѣмъ же законамъ, что и газы; отступленія отъ этихъ законовъ тѣмъ меньше, чѣмъ выше перегрѣвъ и тѣмъ больше, чѣмъ ближе паръ къ состоянію насыщенія. Въ соответствии съ этимъ перегрѣтые пары обладаютъ болѣе или менѣе устойчивымъ агрегатнымъ состояніемъ. Такъ, напримѣръ, перегрѣтый водяной паръ при охлажденіи въ паропроводахъ не конденсируется до тѣхъ поръ, пока не сдѣлается насыщеннымъ.

# Х А Р А К Т Е Р И С Т И Ч Е С К І Я В Е Л И Ч И Н Ы

## И Е Д И Н И Ц Ы М Ъ Р Ъ .

Чтобы составить уравнение состоянія для газа или пара, нужно знать слѣдующія величины, характеризующія это состояніе:

1. Удѣльный вѣсъ  $\gamma$  или удѣльный объемъ  $v$  газа или пара; обѣ эти величины связаны между собою уравненіемъ:

$$v = \frac{1}{\gamma} \quad . \quad 1$$

У д ѣ л ь н ы м њ в ѣ с о м њ пара или газа называется вѣсъ единицы объема его. У д ѣ л ь н ы м њ о б њ е м о м њ называется объемъ, занимаемый единицей вѣса газа или пара.

Согласно этимъ опредѣленіямъ, если извѣстно, что нѣкоторый произвольный вѣсъ газа  $G$  клг. занимаетъ объемъ  $V$  куб. мт., то

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{и} \quad v = \frac{V}{G}.$$

Изъ этихъ зависимостей слѣдуютъ уравненія:

$$V \cdot \gamma = G \quad . \quad 2$$

$$v \cdot G = V \quad . \quad 3$$

2. Давленіе, оказываемое газомъ на единицу поверхности сосуда, въ которомъ онъ находится. Это давленіе называется также у п р у г о с т ь ю газа или пара и обозна-

чается буквой  $p$ .

3. Температуру газа или пара.

4. Для влажного пара необходимо еще знать содержание сухого пара въ смѣси или паросодержаніе  $x$

Такъ какъ за единицу въ тѣса въ технику принимается килограммъ, а за единицу объема куб. метръ, то удѣльный вѣсъ будетъ выражать вѣсъ одного куб. метра газа въ килограммахъ, а удѣльный объемъ будетъ представлять собой объемъ въ куб. метрахъ, занимаемый однимъ килограммомъ газа. Такимъ образомъ,

$$\gamma = \text{кг.мт.}^{-3} \quad \text{и} \quad v = \text{мт.}^3 \text{кг.}^{-1}$$

Слѣдовательно, въ уравненіи состоянія необходимо выражать давленіе въ тѣхъ же мѣрахъ, т.е. въ килограммахъ на квадратный метръ, иными словами  $p = \text{кг.мт.}^{-2}$

На практикѣ же давленіе, обыкновенно, выражаютъ въ килограммахъ на квадратный сантиметръ. Давленіе, равное одному килограмму на квадратный сантиметръ, называется атмосферой. Въ отличіе отъ физической атмосферы, равной давленію въ 1,033 кг. на квадр. см. или 760 мм. ртутнаго столба, техническая атмосфера равна

$$1 \text{ кг. на квадратный сантим.} = \frac{760}{1,033} = 735,6 \text{ мм.}$$

ртутнаго столба.

Необходимо замѣтить, что  $\text{кг. см.}^{-2} = 10000 \text{ кг. мт.}^{-2}$ .

Въ русскихъ мѣрахъ давленіе выражается въ фунтахъ на квадратный дюймъ. Если замѣтимъ, что  $1 \text{ кг.} = 2,44 \text{ ф.}$ , а  $1 \text{ кв. дюймъ} = 6,25 \text{ см.}^2$ , то увидимъ, что въ русскихъ мѣрахъ атмосфера равна  $2,44 \cdot 6,25$ , т.е. около 15 фунтовъ на квадратный дюймъ.

Въ техникахъ для измѣренія давленія выше атмосфернаго примѣняются приборы, называемые манометрами, для давленій ниже атмосфернаго - вакууметры. Эти приборы никогда не даютъ понятія объ абсолютномъ давленіи газа или пара въ томъ сосудѣ, съ которымъ они соединены. Всѣ манометры и вакууметры показываютъ разность между давленіемъ внутри сосуда и вѣншимъ атмосфернымъ. Если эта разность положительна (давленіе въ сосудѣ больше атмосфернаго) то она называется избыточнымъ давленіемъ, если она отрицательна (давленіе въ сосудѣ меньше атмосфернаго), то она называется разрѣженіемъ.

Обозначивъ внутреннее абсолютное давленіе черезъ  $P$ , атмосферное черезъ  $p$ , а разность между ними по абсолютной величинѣ черезъ  $\Delta p$ , найдемъ, въ случаѣ избыточнаго давленія,

$$P - p = \Delta p \quad \text{и} \quad P = p + \Delta p$$