

XVI. Йонообменни апарати

1. Предназначение и конструктивна класификация

Днес йонния обмен се явява един от основните типове процеси в химичната технология. Йоннообменните процеси намират приложение в технологиите на неорганичните вещества и минералните торове, в тежкия и лекия органичния синтез, хидрометалургията, хранителната, фармацевтичната и микробиологичната промишлености. Те се използват при производството на чисти и особено чисти реактиви и вещества, във водоподготовката и водочистката, в атомната промишленост и др. При това йонообменните процеси се явяват не само типови, но и в редица производства на химичната технология, органичната и аналитична химия, биохимията и други те са основни методи за разделяне и почистване на различни вещества. Съществуват различни йонообменни материали с различни физико-химични свойства, които се срещат в природата или се синтезират по изкуствен път. Така например синтетичните йонообменни материали като катионити, анионити, полиамфолити, феромагнитни йонити, електронно йонообменни йонити и др., притежават голяма динамична емкост, висока селективност, химична и термична устойчивост и необходимата механична здравина.

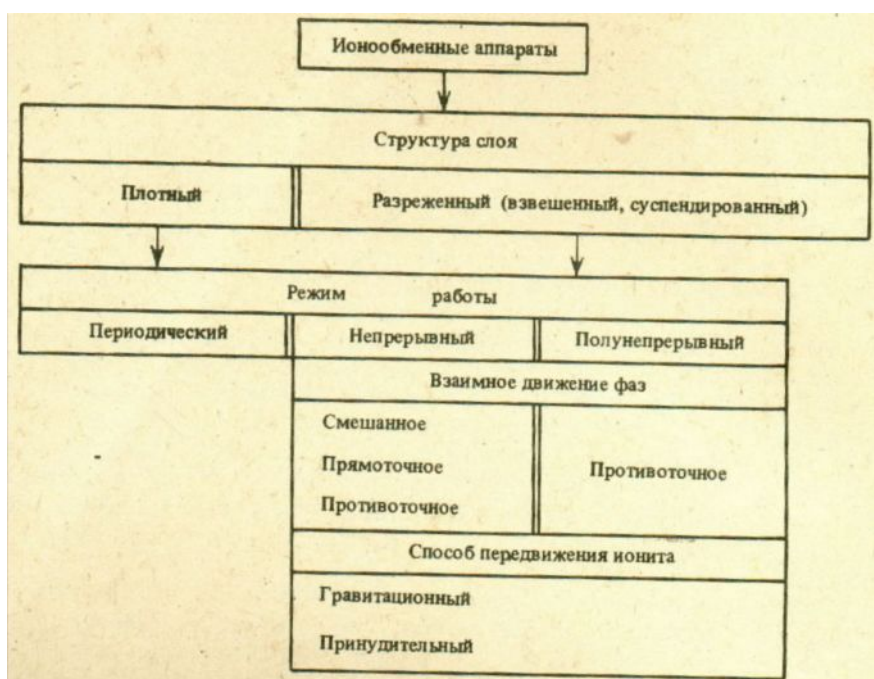
При реализиране на йонообменни процеси първата основна задача е избора на йонообменния материал, а втората задача е оптималният избор на йонообменен апарат за реализиране на технологичните задачи.

Съществуват много йонообменни апарати, като в повечето от тях се съдържат типови конструктивни елементи използвани в други апарати. В тях се осъществяват основни физико-химични процеси на химична технология - като смесващи, контактни, разпределителни транспортни устройства, дренажни системи и др. За това йонообменните апарати трябва да се разглеждат като апарати със сложни апарати, състоящи се от известни конструктивни елементи, в които се извършват различни технологични операции.

Йонообменните апарати могат да се класифицират по различни признаци, като :

- по организацията на процеса(периодичен, непрекъснат, полупериодичен);
- по хидродинамичния режим(с пасивен ХД-режим, с активен-смесване, с междинен);
- по състоянието на слоя йонит(неподвижен, движещ се, пулсиращ и др.);
- по организация на контакта на взаимодействащите фази(непрекъснат, степенен);
- по организация движението на фазите (правоочни, противочни, смесени и др.).

Примерна класификация на йонообменните апарати е представена на фиг.265.



Фиг.265. Класификация на йонообменните апарати

Конструкцията на тези апарати се определя от основни фактори, като:

- състоянието на слоя йонит;
- организацията на движението и контакта на взаимодействащите фази;
- производителност;
- вид и физико-химични свойства на йонита и др.

Както и от допълнителни фактори, като:

- захранващи устройства;
- дренажни устройства;
- регенерация на йонообменните смоли;
- внасянето на външна енергия, пулсации, вибрации и др.

2. Конструкции йонообменни апарати с плътен слой йонит

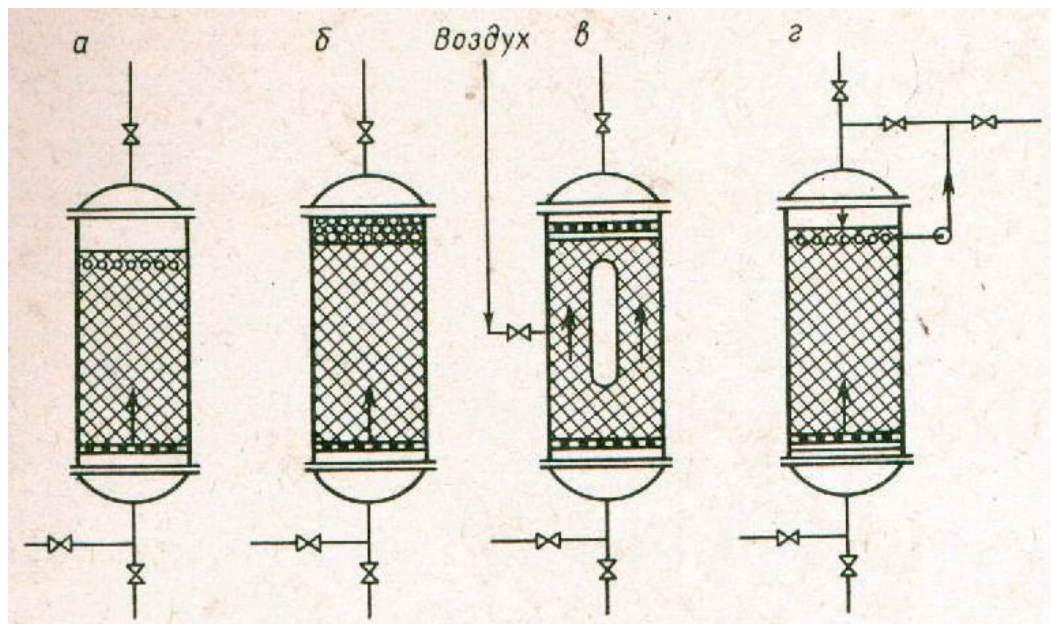
2.1. Апарати с периодично действие

Апарати с периодично действие - апаратите с плътен, неподвижен слой йонит се наричат най-често йонитни филтри. Работата на такъв апарат се основава на филтрирането на разтвора в неподвижен слой йонообменна смола, при което се извършва обмен на йони между разтвора и йонита. Разтворът за пречистване се пропуска през апарата като се извлича определено вещество от филтратата, а след това се извършва регенерация на йонообменната смола. Този тип промишлени апарати са с диаметър от 1 до 3,4м и височина до 5,3м. При работа във агресивни среди вътрешността на апарата се покрива с антикорозионни материали. Йонитните филтри са много ефективни и осигуряват голяма производителност при съответно налягане на разтвора. Конструкцията на този вид апарати е проста и те притежават висока експлоатационна надеждност при значително хидравлично съпротивление. Производителността на филтъра зависи от начина на подаване на разтвора. При подаване на разтвора отдолу максималната скорост трябва да бъде по малка от скоростта на псевдокипене и е от 1 до 5м/час. За увеличаване на максималната скорост се създава допълнителна циркулация на отработеният разтвор отгоре надолу през слоя йонит намиращ се над дренажната система и служещ за извеждане на разтвора. При това може да се достигне увеличение на производителността не повече от 20 ÷ 25%. В горната част на апарата обикновено се намира дренажното устройство, което прегражда пътя на издигания се нагоре йонит. Най-разпространени са апаратите за филтруване отгоре надолу, които при съответно налягане на разтвора постигат високи скорости на филтрация като се достига производителност до 150 м³/м².ч. По нататъчното увеличаване скоростта на филтрацията се ограничава от рязкото увеличаване на енергийните загуби, разрушението на смолата и намаляване на нейния работен обем.

Регенерацията на смолите в тези апарати се извършва правоточно или противоточно. При това за да се получи достатъчна степен на очистване трябва да се използват голямо количество регенти, неколккратно превишаващи стехиометричните изчисления. За да се намали разхода на регенти може да се използва противоточният метод, при който се поддържа голяма движеща сила на процеса регенерация по цялата дължина на апарата. За ефективно провеждане на противоточната регенерация е необходимо йонитите във филтъра да не се смесват, ако подаването на регенериращият разтвор се получава отдолу. За това се използват следните подходи:

- **йонообменната смола във филтъра да притежава широк фракционен състав;**
- **в пространството над йонообменната смола се въвеждат движещи се топчета или то се запълва с въздушни мехурчета(фиг.266а, б, в);**
- **използва се допълнителен воден поток или циркулиране на регенерата върху тънък слой от смолата;**
- **подава се въздух под налягане отгоре надолу през тънък повърхностен слой.**

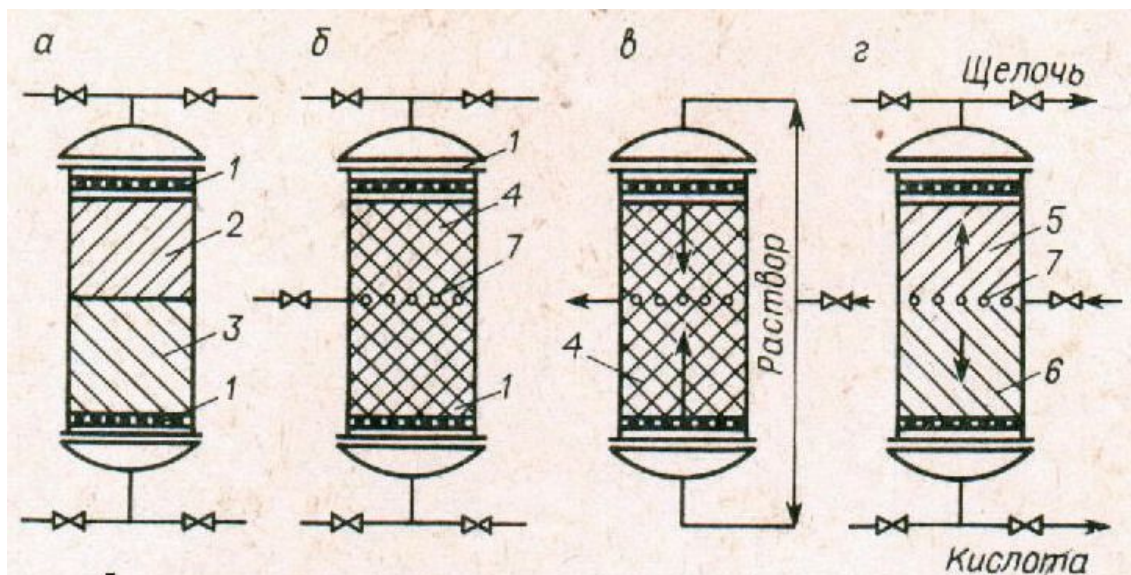
Понякога се използва специална регенерационна колона, в която с малък разход на киселина (основа) се извършва възстановяване на йонита, като по този начин се обслужват няколко апарата.



Фиг.266. Апарати (филтри) с периодично действие

В промишлеността често се използват инсталации, състоящи се от няколко апарата, при това първия апарат след насищане на йонита се включва в края на схемата за регенерация. Така е възможно напълно да се използва динамичната емкост на смолата и да се получат много концентрирани регенерационни разтвори. Понякога тези филтри могат да бъдат по 15 ÷ 20 във въртяща се платформа, като включването им се извършва по определен начин, като едновременно работят само няколко апарата. Така йонитът остава неподвижен, а се променя само зоната на сорбция, регенерация и промиване. Такива установки са сложни за експлоатация.

В промишлената практика се използват апарати със смесен слой йонит (смес на катионит и анионит) - фиг.267б, в, но там възниква проблема с тяхното разделяне при регенерация. Това може да се извърши вътре в апарата или извън него.



Фиг.267. Апарати(филтри) с периодично действие с многослойно(а) и смесено(б, в, г) зареждане

При вътрешната регенерация има допълнителна вътрешна дренажна система, разположена на границата между слоевете-фиг.г.

При втория способ регенерацията се извършва в специална апаратура. Йонитите зареждани в апарата се подбират така, че долния слой да бъде катионита(с по-голяма плътност), горния – анионита. Чрез хидротранспорт те се пренасят в междинен резервоар, разделят се и се използват съответните алкални и кисели разтвори за рененерация. След промиване йонитите отново се въвеждат в апарата. За да се съкрати времето на перстоа обикновено се използва резервен йонит.

2.2. Апарати с непрекъснато действие

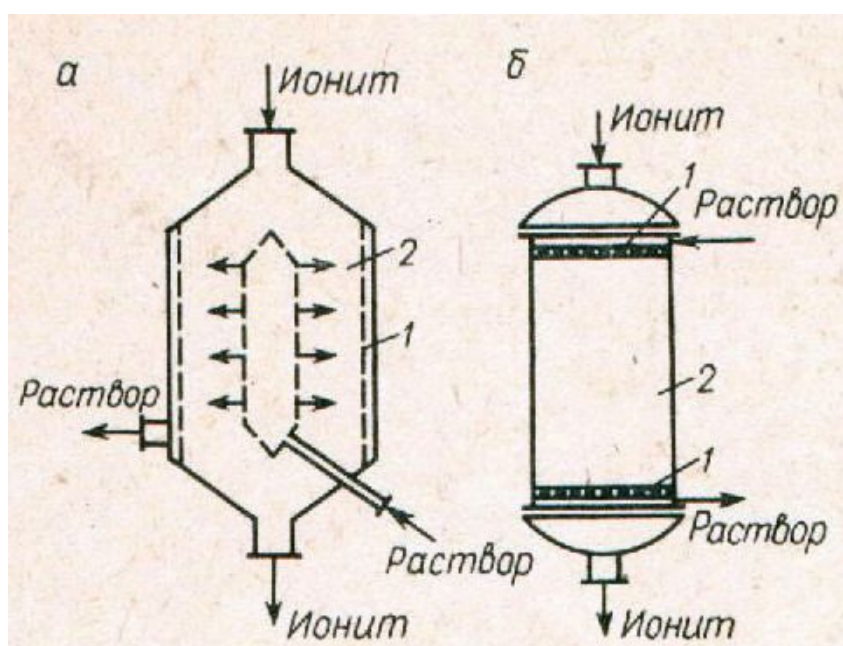
Апаратите с плътнодвижещ се слой йонит представляват колона, целия работен обем на която е запълнен с йонит. Това осигурява голямо време за контакт и създава условия за реализиране на високоефективни сорбционни апарати. Трудностите се проявяват най-вече при равномерното подаване на йоннообменната смола и транспортирането ѝ вътре в колоната без нарушаване структурата на слоя. Проблем е също и равномерното разпределението на фазите по сечението на апарата.

Като общ недостатък на тези апарати се посочва тяхната неголяма производителност.

При този тип апарати е възможно създаване на **правоточно, противоточно и смесено движение на фазите.**

2.2.1. Апарати със смесено и правоточно движение на фазите

Апарати от този тип са представени на фиг.268а, б. Те не намират голямо приложение поради сложната си конструкция и експлоатация.



Фиг.268. Апарати със смесено и правоточно движение на фазите

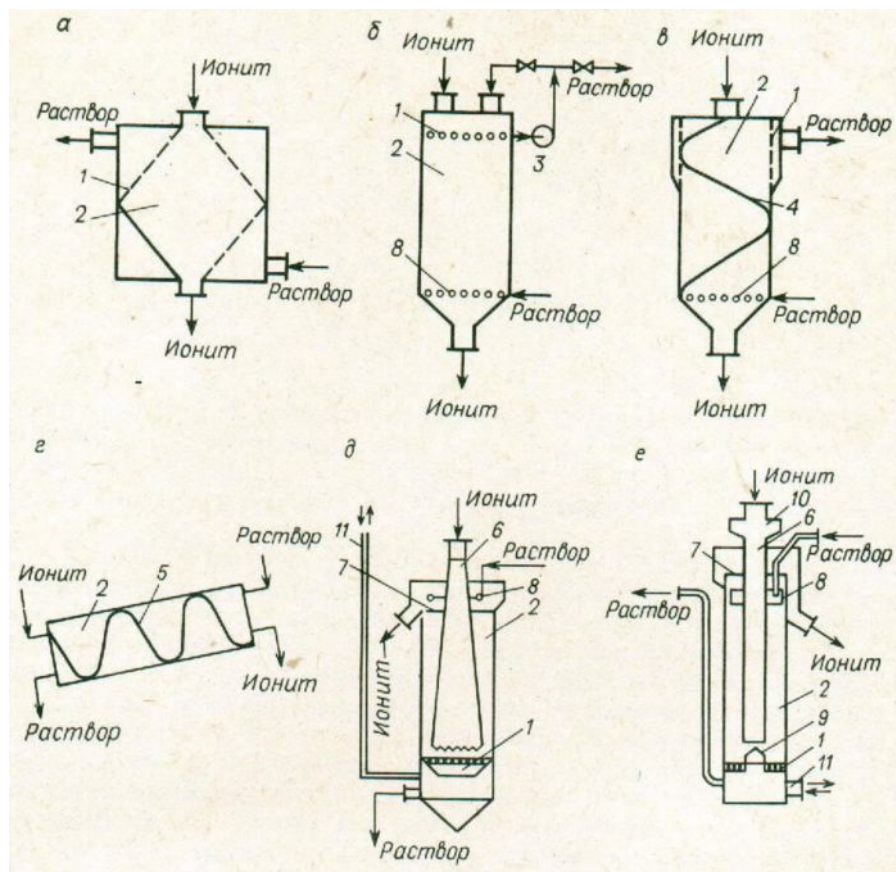
2.2.2. Апарати с противоточно движение на фазите

Тези апарати намират голямо промишлено приложение и от своя страна се подразделят на гравитационни и апарати с принудително движение на йонита.

Използването на противотока позволява да се увеличи средната движеща сила на процеса, да се съкрати от 2 ÷ 5 пъти необходимото време за контакт, да се реализира бързо изменение в концентрациите, да се увеличи динамичната емкост на йонита и да се намали неговия разход.

В апарати с гравитационно движение на йонита смолата се подава от върха, а разтвора – отдолу. Колонните апарати от този тип (както и всички противоточни колони) притежават малка ефективност, с малка относителна производителност. Причината е малката скорост на разтвора, която трябва да бъде по-малка от скоростта на вседોકипене (от 1 ÷ 5 м/ч). Освен това ефективността на апаратите силно намалява при увеличаване диаметъра им, което ги прави непригодни за крупномашабни производства. Единственото им предимство е простата конструкция.

Една от основните трудности при проектиране на апарати с плътно движещ се слой е в равномерното подаване и натоварването с йонид. За целта се използват различни устройства, работата на които се синхронизира с датчици за нивото на смолата в горната част на колоната. Възможно е това да се постигне посредством напорен слой йонид, хидротаран, механично устройство от тип шнек (фиг.269а, б, в).



Фиг.269. Апарати с противоточно движение на фазите

При използване на напорен слой значително се увеличава натоварването на смолата, но производителността се увеличава незначително. Хидротарана осигурява голяма производителност, но изисква допълнителна циркулационна помпа и дренажна система. Шнековите апарати водят до силно надробяване на смолите и често пъти до интензивно обратно смесване.

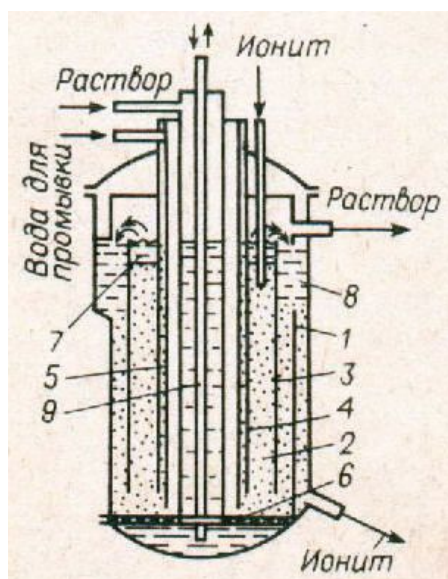
Има различни конструкции противоточни апарати с наклонен шнек тип Архимедов винт или във вид на спирала (фиг.269г), обемът на които частично е запълнен със смола. Такива йоннообменни апарати с наклонен барабан и спирални транспортиращи устройства са предназначени за получаване на концентрирани регенерати в процеса на йонообменната десорбция. Изходният разтвор се подава в горната част на апарата и постъпва в зоната на десорбцията. Скоростта на въртене на барабана е до 0,15м/с. Йонитът се транспортира чрез спиралните прегради в осово направление и настъпва непрекъснат противоточен контакт на разтвора със смолата. Това благоприятства доброто взаимодействие на фазите и осигурява нужната ефективност на процеса. Като недостатък на такъв тип апарат се посочва малкият коефициент на запълване обема на барабана и невъзможността да се регулира времето за контакт, независимо от другите параметри на процеса. Освен това производителността на тези апарати е значително малка. Подобряване конструкцията на тези апарати може да се осъществи чрез регулиране на транспортирания материал и използване на прегради с различен ъгъл на наклона.

Повишаване ефективността на апаратите чрез принудително движение на фазите може да се постигне чрез използване на пулсации, подобряващи разпределението на фазите по сечението (фиг.269д, е). При това организацията на принудителното движение на сорбента може да се извършва от горе на долу (фиг.269д) или обратно (фиг.269е). Във втория случаи относителната производителност се ограничава от скоростта на свободната филтрация. Тази скорост зависи от диаметъра на зърната йонит, вискозитета и плътността на разтвора и достига до $10 \div 15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. За придвижване на сорбента се използва напорната тръба 6, в която височината на слоя смола е по-голяма отколкото в апарата. Йонитът се зарежда от бункер 10, спуска се по тръбата и попада в контактната камера 2. След това йонита се придвижва в противоток с течността нагоре и през прага 7 попада в разпределителната камера. Разтворът се подава в камерата през перфорирания колектор и се извежда през дренажното устройство. Конструкцията на апарата е сравнително проста и осигурява висок коефициент за използване на контактния обем. Този апарат е много

чувствителен към качеството на материала, дисперсията и вискозитета на течната и твърда фаза.

На фиг.269д е представена схема на пулсационна колона. Вътре в колоната има централна напорна тръба, по която под налягане се подава йонит. Тя благоприятства равномерното разпределение на йонита по сечението на апарата и намалява надлъжното смесване. Под действието на пневматичния импулс йонита се премества по контактната камера 2 и през прага 7 навлиза в разделителната камера. Разтворът се подава в контактната камера през разпределителя 8 и се отвежда през дренажното устройство 1. В промишлеността се използват голямогабаритни апарати от този тип с диаметър около 2м. Особено целесъобразно се оказва тяхното използване при преработването на висококонцентрирани разтвори. Те могат да работят ефективно в голям диапазон на дисперсността на йонита, както и в широк диапазон на плътността на йонита и разтвора. Като недостатъци могат да се посочат: голямото натоварване на йонита при неголяма относителна производителност, както и труднодостъпността на дренажното устройство.

За преработване на замърсени с радиоактивни елементи разтвори и пулпове може да се използва противоточния апарат, снабден с контактна камера от пръстеновиден тип, представен на фиг.270.



Фиг.270. Апарат с контактна камера от пръстеновиден тип

Апаратът се състои от корпус 1 и пръстеновидна камера 2, образувана от външна 3 и вътрешна преграда 4. Между външната преграда и корпуса има кръгова междина за извеждане на отработения йонит. А между вътрешната преграда и цилиндърът – пръстеновиден канал 5 за въвеждане на изходния разтвор. В долната част на контактната камера е разположена разпределителна решетка 6, а в горната – хоризонталното сито 7. Апаратът има отстойна камера 8 с бункер за отделяне на отработения сорбент, както и с пулсационна камера 9.

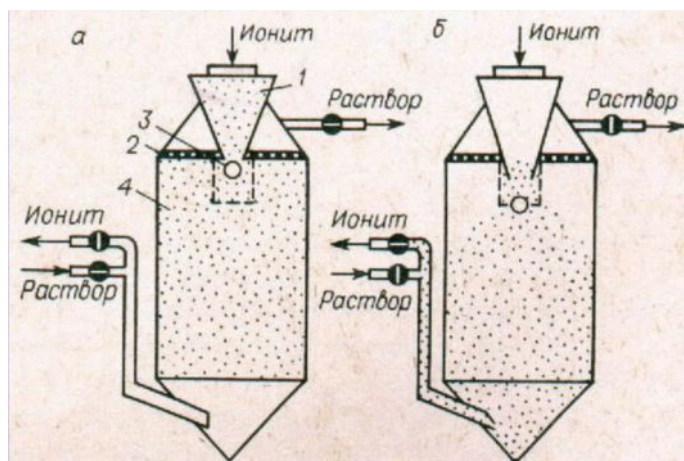
Йонитът постъпва в апарата непрекъснато и се движи надолу под силата на тежестта. Изходният разтвор преминава през пръстеновидния канал и се насочва в долната част на контактната камера през разпределителната решетка. В контактната камера се извършва извличане на продукта от разтвора при противоточното пулсационно взаимодействие на фазите. Отработеният разтвор и промивната течност се отделят от йонита на ситото и чрез колектора се извеждат извън апарата. Наситеният йонит се издига по пръстеновидната фуга, разслоява се в отстойника и от бункера се транспортира за понататъшна регенерация.

Като положителни характеристики на този апарат могат да се посочат: простата форма на контактната зона и надеждността на възлите за въвеждане и извеждане на реагентите.

2.3. Апарати с полунепрекъснато действие

За апаратите от този тип е характерно, че движението на йонита и разтвора през реакционната зона се осъществява в определена последователност. Инсталациите с апарати с полунепрекъснато действие по схема и по технологични характеристики са близки с инсталациите и апаратите с

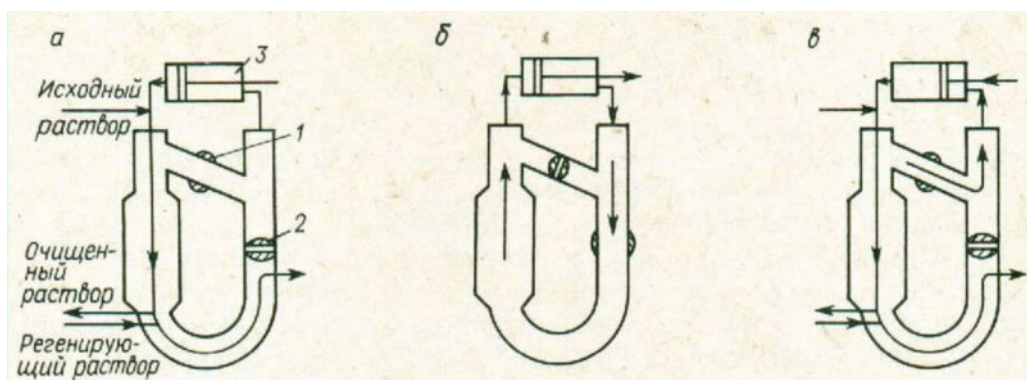
непрекъснато действие. Техните технологични характеристики включват положителните черти, както на непрекъснато действащите апарати (сравнително малък разход на йонит, висока степен за използваемост на реагентите), така и на периодично действащите апарати (възможност за реализиране на високи натоварвания). Те притежават сложна конструкция и за експлоатацията им е необходима пълна автоматизация. (фиг.271а, б).



Фиг.271. Апарати с полунепрекъснато действие

Времето за пребиваването в апарата е от 15÷30мин, а относителната производителност превишава $100\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$. Такива апарати работят в каскади, състоящи се минимум от три контактора.

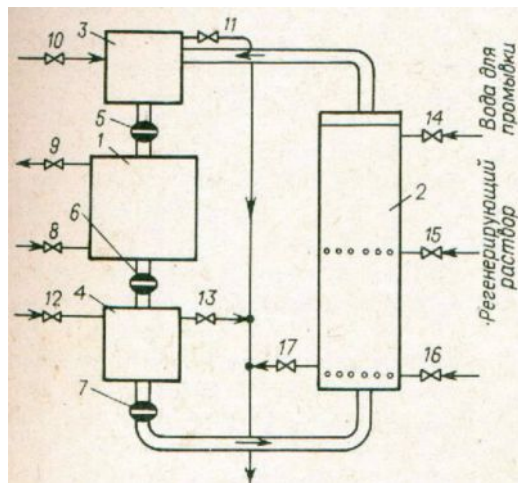
Един от разпространените апарати с полунепрекъснато действие е пулсационния контактор на Хигинс (фиг.272а, б, в).



Фиг.272. Контактор на Хигинс

Този контактор представлява V-образна тръба, разделена с автоматични клапани на секции с различен диаметър, в които се осъществява сорбция, регенерация и промивка. Пулсацията в този апарат се използва за транспортиране на йонита. Двете колена са съединени с бутален пулсатор, създаващ налягане до 0,8МРа. В работната секция разтвора се движи от горе на долу, а слоя йонит обратно. По време на работния цикъл, клапана 1 е отворен, а клапан 2 – затворен и буталото се намира в ляво положение (фиг.272а). Исходният разтвор преминава отгоре надолу през слоя йонит в лявото коляно на V-образната тръба и излиза през дренажното устройство. През това време в дясното коляно се извършва регенерация на йонита. Неголямата част от колоната между точките на извеждане на очистения разтвор и въвеждането на регенерата, служи за промиване на йонита. Продължителността за подаване на разтвора е от 5÷15мин., след което смолата бързо (за 15÷60сек) се смесва на неголямо разстояние. Под действието на външното налягане и последователно затваряне и отваряне на клапан 1 и 2, се извършва цикличната работа на контактора за извличане на целевия продукт и регенерация на йонита. Относителното натоварване по разтвор може да достигне $100\div 150\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ и се ограничава от нарастването на енергозагубите и механичната устойчивост на смолата.

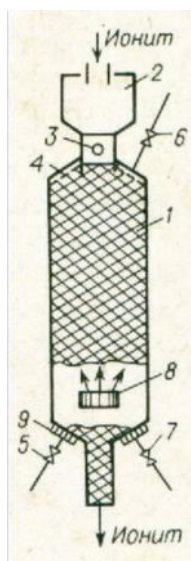
На фиг.273 е представена противотокова установка на фирмата “Пермотит”, която използва принципа на работа на контактора на Хигинс.



Фиг.273. Противотокова установка на фирмата “Пермотит”

Филтрацията в работната секция се извършва отдолу нагоре, така че смолата да се предвижва към горното дренажно устройство. Скоростта на разтвора е около 50м/час. Чрез система от кранове и вентили се извършва процеса на въвеждане на изходния и отработените разтвори, на йонита и неговата регенерация. Производителността достига до $150\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ и се ограничава от нарастването на енергозагубите.

Във фирма “Асахи” е била разработена установка с апарати с полупериодично действие – фиг.274.



Фиг.274. Установка на фирма “Асахи”

Инсталацията се състои от три секции: сорбционна колона(контактор), регенерационна и промивна колона. Транспортирането на йонита от една към друга секция се осъществява под налягането, с което се подава разтвора. В контактора и регенерационната колона йонита е в плътен слой, а в промивната колона – в подвижен. Контактът и регенерационната колона, работят в цикличен режим, а промивната – в непрекъснат режим. Изходният разтвор се подава в контактора от долу през устройство 8. Обратният сферичен клапан 3, отделящ резервоара 2 от контактора, се затваря от налягането на постъпващата течност. Така пречистеният разтвор излиза през горното дренажно устройство на контактора. Вследствие на това, относителното натоварване превишава скоростта на уноса и е от $50\div 100\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$. Смолата се издига към горното дренажно устройство. След известно време се прекратява подаването на разтвор и се отваря вентил 5. Йонитът се утаява и запълва долната част на контактора, след което се затваря вентил 5 и се възобновява подаване на изходния разтвор. Йонитът намиращ се под нивото на разпределителя 8 се изпраща през междинен резервоар в регенерационната колона, която работи аналогично на контактора.

Трябва да се отбележи, че тази установка не притежава кранове по линиите за транспортиране на йонита. В нейната конструкция е намерено удачно решение, чрез използване на клапанно устройство при зареждане на смолата. Контактора на Асахи, обаче не може да работи, ако относителното натоварване е по-малко от скоростта на уноса. Освен това като недостатък на тази инсталация, може да се посочи предвижването на смолата единствено под силата на тежестта.

Установката на Хигинс е по-производителна, има по-малък обем и може да работи при различно относително натоварване. В обобщение може да се каже :

- при замяна на йонитните филтри с инсталации с полунепрекъснато действие се икономисват от 20÷50% капитални разходи и от 20÷40% експлоатационни разходи;

- тези апарати по принцип работят под налягане при големи скорости и имат много регулиращи клапани. За ефективната им експлоатация са необходими специални системи за автоматично регулиране. Във връзка с високите скорости и налягания се използват специални механично устойчиви йонити (обикновено макропорести), както и специални дренажни системи.

3. Конструкции йонообменни апарати с неплътен(суспендиран) слой сорбент

3.1. Апарати с периодично действие

Неплътният суспендиран слой в тези апарати може да се създаде по механичен път, чрез пневматично смесване, чрез вибрации или пулсации. Апаратите с този тип слой се характеризират с това, че частиците на йонита се намират в подвижно състояние. Хидродинамиката на подвижния слой позволява съществено да се интензифицира процеса на масопренасяне, ако скоростта на обмена се лимитира от външната дифузия. При това скоростта на процеса нараства 2÷3 пъти в сравнение със скоростта при апаратите с неподвижен слой йонит. Освен това този подвижен слой позволява преработването на пулпове и високовискозни разтвори.

Йонообменните апарати с периодично действие, работещи с подвижен слой йонит конструктивно се отличават от апаратите с неподвижен слой. При тях има съществено увеличаване на свободното пространство на слоя йонит, тъй като оптималните режими на работа на подвижния слой изискват от 1,5÷2,2 пъти разширение на слоя. Обемното съдържание на йонита в такъв слой е по-малък, отколкото плътния слой и той интензивно се смесва, както в напречно така и в надлъжно направление. Затова височината, еквивалентна на теоритичните степени в апаратите с подвижен слой йонит е по-голяма отколкото в йонитните филтри.

Тези апарати представляват колони с цилиндрична и конична форма. Използването на конични колони позволява да се намали ефекта на надлъжното смесване и изнасяне на малки фракции йонит. В цилиндричните колони това може да се постигне, чрез разделянето им на секции, посредством решетки. Коничните колони притежават корпус във вид на пресечен конус с ъгъл от 7÷10 градуса. Изходният разтвор се подава през разпределително устройство монтирано в долната част на колоната и се извежда от нейната горна част. При неголеми скорости на разтвора на изхода от апарата, коничните колони имат по-малко сепарационно пространство, отколкото цилиндричните и не се нуждаят от установки за улавяне на йонита. Относителната производителност на коничните апарати е неколkokратно по-голяма отколкото при цилиндричните.

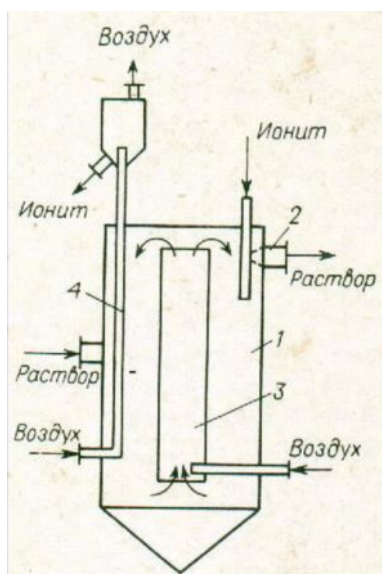
Недостатъците на апаратите с периодично действие са: големите работни обеми, значителния разход на реагенти, необходимост от голямо количество комуникационни линии към апарата (свързани с това, че в един апарат се изпълняват различни операции: сорбция, регенерация и промиване) и сложност при автоматизацията.

3.2. Апарати с непрекъснато действие

3.2.1. Апарати със смесено и правоточно движение на фазите

Основното предимство на тези апарати е тяхната възможност за преработка на пулпове, като се осигурява удобно транспортиране на пулповете вътре в апарата, както и до друг апарат. Това е особено важно за организиране на непрекъснатостта на процеса.

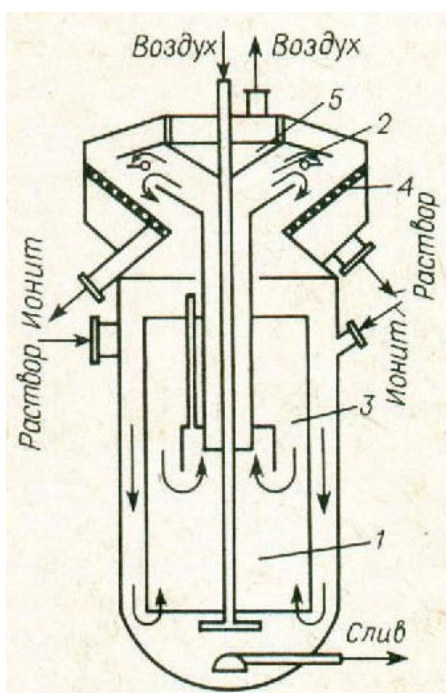
Контактните апарати със смесено и правоточно движение на фазите аналогично на тези с плътен слой сорбент не могат да осигурят повече от една теоритична степен на контакт. Тези апарати са прости по конструкция и експлоатация и широко се използват в промишлеността. Такъв апарат е смесителят - отстойник представен на фиг.275.



Фиг.275. Апарат със смесено движение на фазите

Той представлява вертикален апарат с два ерлифта 3 и 4. Ерлифтовите служат за смесване на йонита и разтвора, както и за разделянето им в дренажното устройство, като йонита отново се връща в контактната зона, а разтвора се извежда от апарата. Обемът на тези апарати е значителен (десетки и стотици куб.м.), като времето за пребиваване на разтвора в апарата е от 20 до 60мин. За достигане на зададените технологични показатели обикновено се използват каскади от такива апарати. Основното предимство на смесителите – отстойници е възможността им да преработват пулпове с различен състав при много голяма производителност.

Правоточен апарат със смесваем и циркулиращ слой йонит е представен на фиг.276.

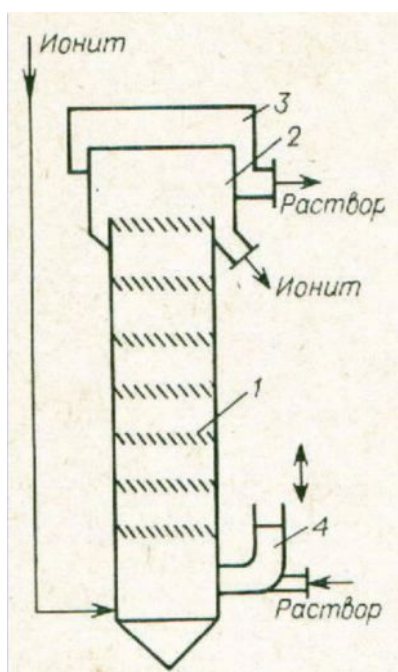


Фиг.276. Правоточен апарат със смесваем и циркулиращ слой йонит

На практика тези апарати се свързват в противоточна каскада и времето за пребиваването в такъв каскаден апарат може да се променя от десетки минути до десетки часове. Относителната производителност на апарата достига до $100\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$.

Разновидност на смесителят отстойник е йонообменния апарат с циркуляционни тръби. Той се състои от вертикална цилиндрична контактна камера, горен отстойник и долен разпределителен колектор. Горната част на контактната камера разположена в отстойника с голям диаметър е снабдена с отвори. Коничното дъно на отстойника има прегради, образуващи специални пространства за събиране на йонита. Те са съединени с щуцери за отвеждане на отработения материал и чрез системи от циркуляционни тръби, се осъществява движение на изходния разтвор, състоящ се от твърдата и течна фаза през разпределителния колектор до контактната камера. В горната част на контактната камера се извършва разслояване, като очистения разтвор се отделя през щуцер в горната част на отстойника, а йонита се утаява в специалните пространства. Неголяма част от смолата се изпраща за регенерация, а основната маса чрез циркуляционните тръби се връща в долната част на контактната камера. За многостепенните инсталации с неголяма мощност се използват пневматични устройства, осигуряващи периодичното псевдотечно състояние на слоя йонит.

На фиг.277 е представена правоточна колона с по-добри показатели отколкото смесителя-отстойник. Относителната производителност на такива колони може да достигне $70 \div 100 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Времето за контакта на отделните частици в колоната е еднакво и насищането им е много по-равномерно, отколкото в смесителя-отстойник. Йонитът се подава отдолу на колоната и се движи нагоре заедно с потока на разтвора. За равномерно разпределение на йонита по сечение на колоната се поставят разпределителни тарелки. В горната разширена част на колоната, йонитът се отделя от разтвора и под действие на силата на тежестта се утаява в улей и се извежда от апарата. Разтворът се отделя от горната част на разделителната зона. Пулсационно устройство осигурява възвратно-постъпателно движение на разтвора. Такъв тип колони могат да достигнат относителна производителност от $40 \div 150 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ при време за пребиваване на йонита до 30 мин на 1 м височина на колоната. Правоточните колони могат да се използват в многотонажни производства.

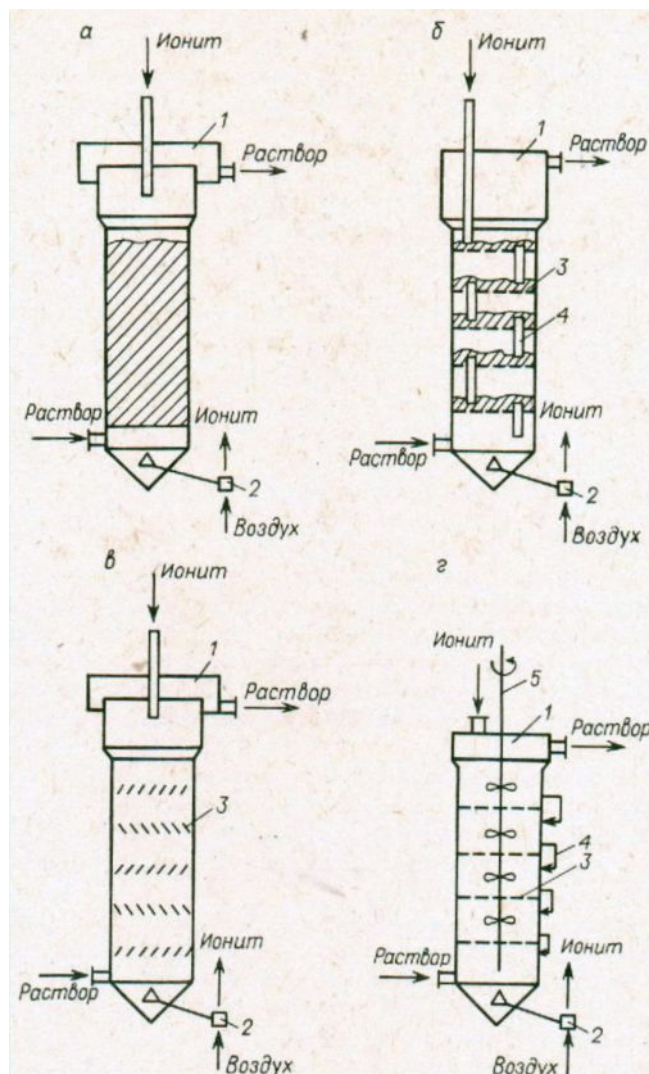


Фиг.277. Правоточна колона

Разработена е и промишлена сорбционна инсталация със секциониращи прегради и бъркачки, състояща се от две свързани помежду си колони. Чрез секциониращи конични прегради и подходящо разбъркване се достига до ефективна работа на инсталацията и нейното промишлено приложение.

3.2.2. Апарати с противоточно движение на фазите

Ефективността на противоточните колони с подвижен слой зависи от времето за пребиваване частиците на йонита в апарата, от равномерното разпределение по сечението и от надлъжното смесване. Различни конструкции на такива апарати са представени на фиг.278а, б, в, г.



Фиг. 278. Апарати с противоточно движение на фазите

Колоната с подвижен слой, представена на фиг.278а е с проста конструкция и има сравнително малки показатели с относителна производителност $1 \div 5 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и височина до 10м. Това се обуславя от много силното смесване на фазите и неравномерното им разпределение по сечението.

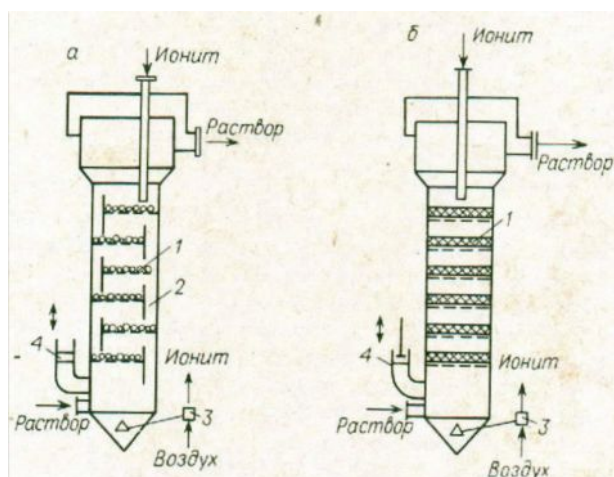
За повишаване на ефективността и производителността на колоната е необходимо равномерно разпределяне на разтвора и йонита по сечение на апарата и намаляване на тяхното надлъжно смесване. Това може да се постигне, чрез поставяне на специални разпределители на потоците. В промишлените апарати това се осъществява чрез секционирание на апарата по височина посредством тарелки. На всяка тарелка се оформя слой йонит, който е с дебелина от $4 \div 8 \text{ см}$ (фиг.278б). Такива тарелъчни колони притежават по-голяма производителност: $10 \div 20 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Те могат да се натоварват с по-малко количество смола. Хидравличното им съпротивление не е твърде голямо.

Използват се често и провални тарелки в конструкцията на този вид апарати. Такава колона е представена на фиг.278в. Тя може да се експлоатира, както в режим на свободно падаща йонообменна смола, така и в режим на псевдокипящ слой.

За подобряване разпределението на компонентите по сечението на апарата с цел повишаване на неговата ефективност е възможно внасяне на допълнителна енергия посредством механични устройства, пулсации или вибрации. Такъв тип колона е представена на фиг.278г и тя притежава по-сложна конструкция и по-трудна експлоатация.

Значително приложение в промишлеността са получили пулсационните колони, които притежават устройства за създаване на възвратно-постъпателно движение на разтвора. Такъв тип пулсираща колона с тарелки и метални топчета върху тях е представена на фиг.279а. През

отворите на тарелката от този тип се пропуска основно разтвор движещ се нагоре в колоната, а йонитът се движи в противоток .



Фиг.279. Апарати с разпределителни пулсации

На фиг.279б е представена пулсационна колона, осъществяваща транспортирането на фазите и регулиране времето на контакт. Колоната притежава разпределителни тарелки със специална конструкция, които задържат йонита при движение на разтвора нагоре. Те пропускат сорбента надолу, като при всеки подаден импулс се извършва пренос на смола от една тарелка на друга. Чрез изменението на честотата и амплитудата на импулсите се регулира времето за пребиваване на частиците в контактната зона и обема на потоците. Максималната производителност на този тип колони може да достигне до $150\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{ч})$.

Йонообменните материали могат да се срещат не само във вид на гранулати, но и във форма на йонообменни влакна и тъкани. През последните години все повече се използват апарати, в които йонообменните материали представляват безкрайна йонообменна лента. Тази лента се предвижва от направляващи ролки, като изходния разтвор се пречиства чрез капилярен контакт с влакната на лентата. Той се събира в специални устройства, а регенерацията на лентата се извършва в електродиализни камери. Апаратите от такъв тип имат не голяма производителност, но осигуряват висока степен на йонообмен и пречистване на разтвора.

Въз основа анализа на различни йонообменни апарати могат да се очертаят следните тенденции за тяхното развитие :

- разделяне на контактната зона на секции, с цел намаляване на надлъжното смесване на фазите;
- използване на ефективни методи за разделяне на фазите при прехода от една секция в друга;
- организиране на развит хидродинамичен режим с цел равномерно разпределяне на фазите, отстраняване на застойни зони и други видове локални неравномерности на процеса;
- реализация на противоточно движение на йонообменната смола и използване на секционирани и камерни апарати ;
- използване на тарелки със специални конструкции, осигуряващи плътен слой сорбент върху тях;
- разработване на специални конструкции йонообменни апарати, отчитайки специфичните свойства на изходните суровини и целевите продукти.

