

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რ. გაფრინდაშვილი, მ. ღვინიანიძე,

თ. გოზალიშვილი

r. gafrindaSvili, m. RvinianiZe,
T. gozaliSvili

ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგიის
ლაბორატორიული პრაქტიკუმი

ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგიის
ლაბორატორიული პრაქტიკუმი

მესამე გადამუშავებული გამოცემა



„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

დამტკიცებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

თბილისი
2019

შაკ 66(075)

**როსტომ გაფრინდაშვილი, მზია ღვინიაძე,
თინათინ გოზალიშვილი.**

ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგიის ლაბორატორიული პრაქტიკუმი.

წარმოდგენილია ტიპური ქიმიურ-ტექნოლოგიური ლაბორატორიული სამუშაოები „ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგიის“ თეორიულ კურსში სასწავლო გეგმით განხილული ტექნოლოგიური პროცესების თვალსაჩინოებისა და ეფექტურად ათვისებისათვის. სამუშაოები შერჩეულია ლაბორატორიის ტექნიკური შესაძლებლობებისა და ფაკულტეტზე არსებული სპეციალობების შესაბამისად

განკუთვნილია ქიმიური ტექნოლოგიისა და მონათესავე სპეციალობების უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტებისათვის

რეცენზენტი პროფესორი ნ. მუმლაძე

©საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008

ISBN

<http://gtu.ge/publishinghouse/>

ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგიის შესწავლის პროცესი ითვალისწინებს ლექციების მოსმენასა და პრაქტიკული და ლაბორატორიული სამუშაოების შესრულებას. სწავლების ამ სამი ფორმის შერწყმით სტუდენტი იძენს საკმარის საფუძვლებს ნებისმიერი ქიმიურ-ტექნოლოგიური სპეციალობის შესასწავლად.

წინამდებარე დამხმარე სახელმძღვანელოში შეტანილია სამუშაოები, რომლებიც გათვალისწინებულია ჰომოგენური, ჰეტეროგენული, მაღალტემპერატურული, კატალიზური, ელექტროქიმიური და სხვა ტიპური პროცესების განხორციელების, აგრეთვე, ნედლეულის მომზადების, ანალიზისა და გარემოს მონიტორინგის მეთოდების შესასწავლად.

სასწავლო გეგმის მიხედვით ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგიის ლაბორატორიაში სტუდენტი ატარებს პირველ ტექნოლოგიურ გამოკვლევას, ეცნობა თეორიულ კურსში მოსმენილ საკითხებს როგორც მოცემული პრაქტიკუმით, ასევე ცალკეულ ამოცანებში რეკომენდებული დამატებითი ლიტერატურით. პროფესორთან გასაუბრების შემდეგ სტუდენტი დებულობს დავალებას და ასრულებს ექსპერიმენტულ სამუშაოს.

კვლევის შედეგების მიხედვით სტუდენტი ასრულებს საჭირო გაანგარიშებებს და ადგენს ანგარიშს, რომელშიც შედის დავალება და სამუშაოს მიზანი, ტექნოლოგიური დანადგარის სქემა, ანგარიშები, გრაფიკები და დასკვნები.

ყოველი სტუდენტისათვის პროფესორი არჩევს დავალებას მისი მომავალი სპეციალობის გათვალისწინებით.

I სამუშაო

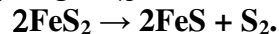
სულფიდური მადნების გამოწვა

სულფიდური მადნების გამოწვა ჰაერის ნაკადში ტიპური პროცესია, რომელიც გამოიყენება ფერად მეტალურგიაში როგორც ფერადი ლითონების კონცენტრატის გადაშუავეების პირველი სტადია, ხოლო გოგირდმჟავის, ცელულოზისა და ზოგიერთ სხვა წარმოებაში გოგირდის დიოქსიდის მისაღებად. კანონზომიერებები, რომლებსაც ეფუძნება ეს ჰეტეროგენული მაღალტემპერატურული არაკატალიზური პროცესი, მართებულია ნებისმიერი სულფიდური ნედლეულისათვის. სულფიდური ნედლეულია: გოგირდის ალმადანი – FeS_2 , პიროტინი – Fe_2S_8 , ქალკოპირიტი – CuFeS_2 , სპილენძის კრიალა – Cu_2S , თუთიის მატყუარა – ZnS და სხვ.

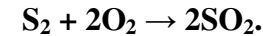
განვიხილოთ სულფიდური ნედლეულის გამოწვის კანონზომიერებები გოგირდის ალმადნის გამოწვის მაგალითზე. გოგირდის ალმადანი გოგირდოვანი აირის წარმოების ძირითადი ნედლეულია. იგი შედგება მინერალ პიროტინისა და მინარეგებისაგან. ქიმიური რეაქციები, რომლებიც ალმადნის გამოწვის დროს მიმდინარეობს, შეიძლება ასეთი ჯამური განტოლებით გამოვსახოთ:



ფაქტობრივად სულფიდური მადნების გამოწვის დროს მიმდინარეობს რამდენიმე ქიმიური რეაქცია, რომელთაც, ძირითადად, ტემპერატურა განაპირობებს. ყველა ეს რეაქცია, ისევე როგორც გამოწვის მთელი პროცესი, შეუქცევადია. 500°C -ზე მეტად გაცხელებით თერმოდინამიკურად არამდგრადი FeS_2 სწრაფად დისოცირდება:



გამოყოფილი გოგირდი მაშინვე იწვის, წარმოქმნის რა გოგირდოვან აირს:



600° -ზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე რკინის სულფიდი იჟანგება. ეს პროცესი საფეხურებად მიმდინარეობს ჯერ FeO -ს, შემდეგ კი Fe_3O_4 -ისა და Fe_2O_3 -ის თანამიმდევრული წარმოქმნით. რეაქციათა ჯამური განტოლება ასე შეიძლება დაიწეროს:



SO_2 -ის ნაწილი იჟანგება რკინის ოქსიდების კატალიზური ზემოქმედების შედეგად და მცირე რაოდენობით წარმოიქმნება გოგირდის ანჰიდრიდი - SO_3 . რკინის სულფიდის მარცვლები დაჟანგვის პროცესში იფარება რკინის ოქსიდების აფსკით (ფურჩით), რაც აძნელებს ჟანგბადის დიფუზიას FeS -ის ჯერ კიდევ დაუჟანგავი ბირთვისაკენ და გოგირდოვანი აირის უკუდიფუზიას აირად ფაზაში. დიფუზიის ეს ნელი პროცესები განსაზღვრავს ალმადნის გამოწვის საერთო სიჩქარეს.

ალმადნის გამოწვით მიღებული აირი, ლუმლის ტიპისაგან დამოკიდებულებით, შეიცავს 7-13% SO_2 -ს, 4-11% O_2 -ს, 0,5%-მდე SO_3 -ს; დანარჩენი აზოტია. გამოწვის მყარი ნარჩენი – ნამწვი – რკინის ოქსიდებისაგან შედგება (Fe_2O_3 და Fe_3O_4). იგი შეიძლება შეიცავდეს ზოგიერთი ლითონების სულფატებს, კვარცს, ალუმინსილიკატებსა და 0,5-2%-მდე ამოუწვავ გოგირდს.

ალმადნის (ისევე როგორც ყველა სხვა სულფიდური ნედლეულის) გამოწვის ოპტიმალური პირობების განსაზღვრა შეიძლება პროცესის სიჩქარეზე სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის ანალიზით. ამ დროს მიმდინარე ჰეტეროგენული

პროცესის სიჩქარე შეიძლება ასეთი განტოლებით გამოვსახოთ:

$$u = \frac{dC_{so_2}}{d\tau} = K_m F \Delta C,$$

სადაც $u = \frac{dC_{so_2}}{d\tau}$ არის გამოწვის საერთო სიჩქარე, გამოსახული პროდუქტის (SO_2) რაოდენობის წარმოებულთ დროში; K_m - მასაგადაცემის კოეფიციენტი; F – ფაზათა შორის ზედაპირის სიდიდე; ΔC - გამოწვის პროცესის მამოძრავებელი ძალა რომელიც დამოკიდებულია ჟანგბადის შემცველობაზე ჰაერში და გოგირდის კონცენტრაციაზე ალმადანში. წვის პროცესის სიჩქარე შეიძლება გაიზარდოს K_m -ის, F -ისა და ΔC -ს გადიდებით.

გამოწვის ΔC მამოძრავებელი ძალის გადიდება შეიძლება სულფიდური ნედლეულის გამდიდრებით მრავალჯერადი ფლოტაციის გზით, რის შედეგადაც შეიძლება მადანში პირიტის (FeS_2) შემცველობა 90%-მდე და უფრო მეტადაც გაიზარდოს. ასევე გაადიდებს მამოძრავებელ ძალას ჰაერის გამდიდრება ჟანგბადით.

მუშაობის დროს გამოსაწვავი ნაწილაკების ზედაპირთან ჟანგბადის უფრო სრულად მიღწევის უზრუნველსაყოფად მას აწვდიან 1,2-1,8-ჯერ მეტს თეორიულად გაანგარიშებულ სტექიომეტრიულ რაოდენობასთან შედარებით.

მასაგადაცემის K_m კოეფიციენტის გადიდება შეიძლება პროცესის ტემპერატურის ამაღლებით და ლუმელში ჰიდროდინამიკური რეჟიმის ინტენსიფიცირებით, რაც ხელს უწყობს ალმადანის ნაწილაკების არევის ჰაერის ნაკადში. ტემპერატურის ამაღლება, თუმცა აჩქარებს ქიმიურ რეაქციებსა და დიფუზიას, შეიძლება მხოლოდ ოპტიმალურამდე. ლუმლის ტი-

პისაგან დამოკიდებულებით ოპტიმალური ტემპერატურა შეიძლება მერყეობდეს 850-დან 1000⁰C-მდე. მისი შემდგომი გადიდება არ არის ხელსაყრელი ამოსავალი რეაგენტის – ალმადანის – თერმული უმდგრადობის გამო: იგი ადვილად ცხვება მსხვილ კოშტებად, რაც მკვეთრად ამცირებს ფაზათა შორის ზედაპირს და აფერხებს ლუმლის მუშაობას.

ფაზათა შორისი F ზედაპირის გასაზიარებლად მადანს განუწყვეტლივ ურევინ, რაც არა მარტო ამცირებს დიფუზურ წინააღმდეგობებს, არამედ ავითარებს და აახლებს რკინის სულფიდის ჰაერის ჟანგბადთან შეხების ზედაპირსაც. შიგა დიფუზურ წინააღმდეგობათა შესამცირებლად და შეხების ზედაპირის გასაზიარებლად გამოსაწვავად იყენებენ დაქუცმაცებულ ალმადანს, რომლის ნაწილაკების ზომაა 0,03-0,3 მმ.

სულფიდური ნედლეულის გამოსაწვავად გამოიყენება სამი ტიპის ლუმელი: მექანიკური თაროებიანი, მტვრისებური ალმადანის გამოსაწვავი და ალმადანის შეწონილ (ფსევდომულარე) მდგომარეობაში გამოსაწვავი.

მექანიკურ თაროებიან ლუმლებში დაქუცმაცებული ალმადანი იწვის მის თალებზე (თაროებზე) დაყრილ ფენაში. თალებზე გამოსაწვავ მასალას გადაადგილებენ და ურევინ სპეციალური მექანიკური სარევეებით. ამ ტიპის ლუმლების მუშაობის ინტენსივობა დღელამეში აღწევს 225 კგ ალმადანს თაღის 1 მ²-ზე. ალმადანის მტვრისებურ მდგომარეობაში გამოსაწვავ ლუმლებში წმინდად დაქუცმაცებული ნედლეული გაიფრქვევა, ხოლო ფსევდომულარე მდგომარეობაში გამოწვისას ალმადანი შეტივტივებულია ჰაერის ნაკადში.

ამჟამად მექანიკურ თაროებიან ლუმელს შედარებით იშვიათად იყენებენ მისი მცირე მწარმოებლობის გამო. მუშაობის უფრო მაღალი ინტენსივობით და მიღებულ აირში SO_2 -ს მაღალი კონცენტრაციით (ფსევდომულარე ფენიან ლუმლებში – 15%-მდე) გამოირჩევა ალმადანის მტვრისებურ

და შეწონილ მდგომარეობაში გამოსაწვავი ღუმელები. ამას გარდა მათ სხვა უპირატესობებიც ახასიათებს:

1. გამოსაწვავი მასალის მაღალი დისპერსულობა, რაც ამცირებს შიგადაფუხურ წინააღმდეგობებს და ავითარებს ფაზათაშორის ზედაპირს;
2. ყველა ნაწილაკს ჰაერი ტურბულენტურად უვლის გარშემო, რაც უზრუნველყოფს ნედლეულის სრულ გამოწვას;
3. ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის შემცირების შესაძლებლობა, რის შედეგადაც აირში იზრდება SO_2 -ის კონცენტრაცია;
4. შეწონილ ფენაში მასალის ძვრადობა და დენადობა აადვილებს ღუმლიდან ნაძვის გამოტვირთვას.

ასეთი ტიპის ღუმელებში ადვილია გამოწვის მთელი პროცესის რეგულირება და ხერხდება მისი სრული ავტომატიზაცია. მათი ნაკლია დიდი მტვერწატაცება და შედეგად – აირის ძლიერი დამტვერიანება (300 გ/მ^3 -მდე), რაც ძლიერ ართულებს აირის მტვერისაგან გაწმენდის პროცესს და მოითხოვს რთულ აპარატურას.

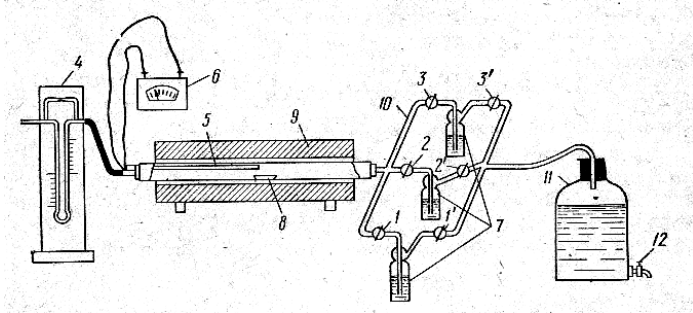
მოცემულ სამუშაოში შეისწავლება ტემპერატურის, ჰაერის სიჭარბის, ალმადანში გოგირდის შემცველობისა და ნაწილაკების ზომების გავლენა გამოწვის სიჩქარეზე, რაც აისახება დროის მიხედვით აირში SO_2 -ის კონცენტრაციის ან ღუმლის წარმადობის ცვლით.

ალმადნის გამოწვა უძრავ შრეში

ნახაზზე მოცემულია უძრავ ფენაში ალმადნის გამოსაწვავი ლაბორატორიული დანადგარის სქემა.

გამოწვისათვის იყენებენ ჰორიზონტალურ მილისებრ ელექტროღუმელს (9); ღუმლის ფაიფურის მილში ათავსებენ ალმადნის წონაკიან ნავს (8); ღუმელში ტემპერატურა იზო-

მება თერმომწვევით და რეგულირდება თერმორეგულატორით (6).



ალმადნის გამოსაწვავად საჭირო ჰაერი ღუმელსა და მთელ დანადგარში გაიწოვება ასპირატორის (11) საშუალებით; ჰაერის მოცულობითი საჩქარე იზომება რეომეტრით (4), რომელიც დაგრადუირებულია ოთახის ტემპერატურაზე. ღუმლიდან გამოსული აირი გაივლის შთამნთქმელ ჭურჭლებში (7), რომლებშიც ჩასხმულია იოდის (ან ბერთოლეს მარილის) ცნობილტიტრიანი ხსნარის განსაზღვრული რაოდენობა.

ცდის ჩასატარებლად 0.01 გ სიზუსტით აწონილ ცნობილი შედგენილობის $1-2 \text{ გ}$ ალმადანს ათავსებენ ფაიფურის ნავში; როდესაც ღუმელი გაცხელდება საჭირო ტემპერატურამდე ნავი ფრთხილად შეაქვთ მილში და ათავსებენ რაც შეიძლება ახლოს თერმომწვევლის ბოლოსთან; საცობით სწრაფად და მჭიდროდ დახურავენ ღუმლის მილის ღია ბოლოს, რომელთანაც დაკავშირებულია ონკანების სავარცხელი (10), ალებენ 1 და 1' ონკანებს და ასპირატორის ონკანის (12) საშუალებით იწყებენ ჰაერის გატარებას დანადგარში. ამ დროს რაც შეიძლება სწრაფად უნდა დავამყაროთ ჰაერის სასურველი სიჩქარე რეომეტრის მიხედვით. ჰაერის გატარების დაწყებას აფიქსირებენ წამსაზომით, როგორც ცდის დასაწყისს.

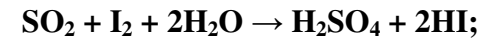
ღუმლის აირის ანალიზს განუწყვეტლივ ატარებენ, თანამიმდევრულად გაატარებენ რა მის ნაკადს ნაკადს 1-1' და 2-2' ონკანების საშუალებით შთამნთქმელ ჭურჭლებში დროის გარკვეულ მონაკვეთებში, მაგალითად, 5 წთ-ის განმავლობაში თითოეულ ჭურჭელში, ან ხსნარის გაუფერულებამდე და ჩაინიშნავენ გაუფერულების დროს. თუ ცდას არ აგრძელებენ ხსნარის გაუფერულებამდე, ყოველ 5 წუთში გადართავენ აირის ნაკადს ონკანების საშუალებით სხვა შთამნთქმელ ჭურჭელში, ნამუშევარი ხსნარი გადააქვთ კონუსურ კოლბაში და SO₂-თან რეაქციაში შეუსვლელ ჭარბ იოდს ტიტრავენ ნატრიუმის თიოსულფატის 0,1 ნ ხსნარით; ინდიკატორად სახამებელს იყენებენ. გათავისუფლებულ ჭურჭლებში კვლავ ასხამენ იოდის ხსნარს და განაგრძობენ ღუმლის აირის ანალიზს მანამ, სანამ გოგირდი პრაქტიკულად მთლიანად არ ამოიწვება ნიმუშიდან; როდესაც აირში SO₂ აღარ დაფიქსირდება ანალიზს წყვეტენ.

ცდის მსვლელობისას მუდმივ დონეზე ინარჩუნებენ ტემპერატურასა და ჰაერის მოცულობით სიჩქარეს.

მომდევნო ცდაში იღებენ ალმადნის ახალ წონაკს და ცვლიან პროცესის პირობებს: გოგირდის შემცველობას - 25-50%-ის ფარგლებში, ტემპერატურას - 500-800°C-ის, ხოლო ჰაერის მოცულობით სიჩქარეს - 5-10 მ³/სთ-ის ზღვრებში. ექსპერიმენტის შედეგებს გამოსახავენ გრაფიკულად კინეტიკური მრუდების სახით კოორდინატთა სისტემაში: *ამომწვარი გოგირდის რაოდენობა-დრო*. ამისათვის ანგარიშობენ დროის გარკვეულ მონაკვეთებში ამომწვარი გოგირდის რაოდენობას ფორმულით:

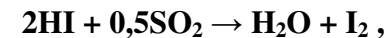
$$G_s = 0,0016(nV_{I_2} - mV_{Na_2S_2O_3}),$$

სადაც G_s არის დროის მოცემულ მონაკვეთში ამომწვარი გოგირდის რაოდენობა, გ; V_{I_2} - შთამნთქმელ ჭურჭელში მოთავსებული იოდის 0,1 ნ ხსნარის რაოდენობა, სმ³; $V_{Na_2S_2O_3}$ - თიოსულფატის 0,1 ნ ხსნარის რაოდენობა, რომელიც ჭარბი იოდის გატიტვრაზე დაიხარჯა, სმ³. n და m - ხსნარების ნორმალობის შემასწორებელი კოეფიციენტები. 0,0016 - 1 მლ 0,1 ნ იოდის ხსნარის შესაბამისი გოგირდის რაოდენობა, გამოთვლილი შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



იციან რა გოგირდის შემცველობა ალმადნის წონაკში, ანგარიშობენ გოგირდის გამოყენების კოეფიციენტს, ან დროის გარკვეულ მონაკვეთში ამომწვარი გოგირდის რაოდენობის ფარდობას გოგირდის საერთო რაოდენობასთან.

აღსანიშნავია, რომ იოდომეტრული მეთოდი არ იძლევა ზუსტ შედეგს, რადგან HI ჟანგბადის მოქმედებით, განსაკუთრებით მჟავა გარემოში, იშლება თავისუფალი იოდის გამოყოფით:



რომელიც ხელმეორედ შედის რეაქციაში ჭურჭელში ახლად შემოსულ SO₂-ის ნაკადთან და ამიტომ გვიჩვენებს მის ნაკლებ რაოდენობას, ვიდრე სინამდვილეშია.

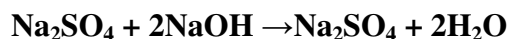
უფრო ზუსტ შედეგს მივიღებთ თუ იოდის ნაცვლად ბერთოლეს მარილის 3%-იან ხსნარს გამოვიყენებთ. ბერთოლეს მარილით SO₂ იჟანგება SO₃-ად და რჩება ხსნარში H₂SO₄-ის სახით:



ცდის შემდეგ მას ტიტრავენ NaOH-ის 0,1 ნ ხსნარით მეთილნარინჯის, როგორც ინდიკატორის, თანაობისას. ამ შემთხვევაში ამომწვარი გოგირდის რაოდენობას ანგარიშობენ ფორმულით:

$$G_S = 0,0016V_{\text{NaOH}} \cdot K,$$

სადაც V_{NaOH} არის გატიტვრაზე დახარჯული NaOH-ის 0,1 ნ ხსნარის რაოდენობა, სმ³; **K** - NaOH-ის ხსნარის ნორმალობის შემასწორებელი კოეფიციენტი; 0,0016 – გოგირდის რაოდენობა, რომელიც შეესაბამება 0,1 ნ NaOH-ის 1 სმ³-ს შემდეგი რეაქციით:



ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილში.

ჩატარებული ექსპერიმენტული სამუშაოს გასაფორმებლად საჭიროა

1. დაიხაზოს გოგირდის ალმანის გამოწვის დანადგარის სქემა;
2. ჩამოიწეროს მოცემულობა;
3. გამოითვალოს დროის თითოეულ მონაკვეთში ამომწვარი გოგირდის რაოდენობა (გ, %) და გოგირდის ამოწვის საერთო ხარისხი;
4. ექსპერიმენტისა და გაანგარიშების შედეგები დაფიქსირდეს ცხრილში;
5. აიგოს ამომწვარი გოგირდის რაოდენობის ამოწვის დროისაგან დამოკიდებულების კინეტიკური მრუდები.

ალმანის წონა, გ	გოგირდის შემცველობა ალმანში, %	გოგირდის შემცველობა წონაკში, გ	გამოწვის ტემპერატურა	ჰერის მოცულობითი სიჩქარე, სმ ³ /წმ	ამოწვის დრო	0,1 ნ NaOH-ის რაოდენობა, სმ ³	ამომწვარი გოგირდის რაოდენობა, გ	ამომწვარი გოგირდის რაოდენობა, %	ამოწვის საერთო ხარისხი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ლიტერატურა

1. რ. გაფრინდაშვილი. ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგია. “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, თბილისი. 2003.
2. В. С. Бесков. Общая химическая технология. Москва. Академкнига. 2006.
3. А. Я. Авербух и др. Практикум по общей химической технологии. Москва. Высшая школа. 1979.

II სამუშაო

ნატრიუმის ტუტის მიღება ფერიტული მეთოდით

ნატრიუმის ტუტის მიღების ფერიტული ხერხი სამრეწველო მასშტაბებით ამჟამად იშვიათად გამოიყენება; იგი უფრო საინტერესოა ლაბორატორიული ტექნიკის თვალსაზრისით, რადგან ამ სამუშაოს შესრულების დროს სტუდენტი მრავალ ქიმიურ-ლაბორატორიულ ოპერაციას ასრულებს და ეუფლება ლაბორატორიაში მუშაობის ჩვევებს. მეთოდი ითვალისწინებს ნატრიუმის ფერიტის – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ – მიღებას და შემდეგ მის დაშლას წყლით. ნატრიუმის ფერიტი წარმოიქმნება კალცინირებული სოდის შეცხობით რკინის ოქსიდთან მაღალ ტემპერატურაზე:



შენაცხობის წყლით გამოტუტვით წარმოიქმნება ნატრიუმის ტუტე და რკინის ოქსიდი:



ტუტის მოცილებისა და გარეცხვის შემდეგ რკინის ოქსიდს კვლავ აბრუნებენ პროცესში ახალი კაზმის მოსამზადებლად.

ნატრიუმის ტუტის ფერიტული მეთოდით მიღების ძირითადი ოპერაცია არის კალცინირებულ სოდასთან რკინის ოქსიდის შეცხონის მაღალტემპერატურული ჰეტეროგენული პროცესი, რომელიც მყარი ამოსავალი რეაგენტების მონაწი-

ლეობით მიმდინარე ენდოთერმული რეაქციის ტიპური მაგალითია.

მაღალი ტემპერატურის გამოყენება არის ენდოთერმული რეაქციების ინტენსიფიკაციისა და საბოლოო პროდუქტის წარმოქმნის მხარეს წონასწორობის გადახრის ძირითადი ხერხი. მაღალ ტემპერატურას დიდი მნიშვნელობა აქვს მყარი რეაგენტების ურთიერთქმედებით მიმდინარე პროცესებში; იგი მთლიანად ან ნაწილობრივ ალღობს რეაგენტებს (ან ერთ-ერთს), რაც მკვეთრად ადიდებს დიფუზიის სიჩქარესა და ფაზათა შეხების ზედაპირის ფართობს.

სოდისა და რკინის ოქსიდის ურთიერთქმედება შესამჩნევია უკვე 680°C -დან. რეაქციის სიჩქარე მკვეთრად მატულობს, როცა ტემპერატურა 851°C -მდე, ე. ი. კაზმის ყველაზე უფრო ადვილდნობადი კომპონენტის – სოდის – ლღობის ტემპერატურის ზევით იზრდება. ტემპერატურის გარდა (ა) რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედებს რეაგენტების ნაწილაკების ზომა, რკინის ოქსიდის თვისებები, კაზმში სოდისა და რკინის ოქსიდის რაოდენობრივი თანაფარდობა.

მორეაგირე ნაწილაკების ზომების შემცირებით იზრდება რეაგენტების შეხების ზედაპირი და მცირდება შიგადაიფუზური წინააღმდეგობები, ამიტომ კაზმის დასამზადებლად იყენებენ წმინდად დაქუცმაცებულ სოდასა და რკინის ოქსიდს (ნაწილაკების ზომა არა უმეტეს 1 მმ). განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რკინის ოქსიდის წმინდად დაფქვა, რადგან იგი შეცხობისას მყარ მდგომარეობაში იმყოფება.

ფერიტის წარმოქმნის სიჩქარეზე ძალიან მოქმედებს რკინის ოქსიდის რეაქციის უნარი, რაც დამოკიდებულია მინარევების შემცველობასა და ოქსიდის მარცვლების ზედაპირის განვითარებაზე. ამიტომ გამოყენებული რკინის ოქსიდი უნდა შეიცავდეს არა ნაკლებ 95% Fe_2O_3 -ს. ახალი რკინის ოქსიდი არააქტიურია და მას სპეციალურად ამუშავებენ: მას მრავალჯერ შეაცხობენ და გამოტუტავენ სოდის მცირე და

თანდათანობით მზარდ ულუფებთან. ამის შედეგად თითქმის ორჯერ და უფრო მეტად იზრდება რკინის ოქსიდის შეხების ზედაპირი მარცვლების ფორიანობის გადიდების ხარჯზე.

რკინის ოქსიდის ჭარბად აღება, უზრუნველყოფს სოდის მაქსიმალურად გამოყენებას. ეს გამართლებულია, რადგან რკინის ოქსიდი არ იკარგება და კვლავ ბრუნდება პროცესში. მოქმედ მასათა კანონის თანახმად კაზმში Fe_2O_3 -ის რაოდენობის გადიდებით იზრდება სოდის კაუსტიფიკაციის, ანუ ნატრიუმის ტუტედ გარდაქმნის ხარისხი. პრაქტიკაში ერთ წონით ნაწილ Na_2CO_3 -ზე იღებენ 2,5-3 ნაწილ Fe_2O_3 -ს. კაზმს აცხობენ $1100-1200^{\circ}C$ -ზე ჰორიზონტალურ დოლისებრ ღუმელში, რომელიც ბრუნავს 1-2 ბრ/წთ სიჩქარით. ღუმელს აცხელებენ მაზუთით ან აირადი სათბობით.

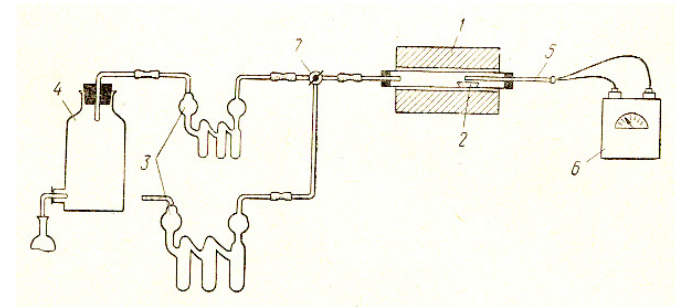
შენაცხობს გამოტუტავენ ტუტის ხსნარით ყალბიერიანი აპარატების ბატარეაში (დიფუზორებში), რომლებშიც სუსტი ტუტეხსნარი მოძრაობს გამოსატუტი მასის მოძრაობის შემხვედრად, რის გამოც ხსნარის კონცენტრაცია თანდათან იზრდება. საბოლოოდ მიღებული ხსნარი შეიცავს 300-400 გ/დმ³ NaOH-ს.

ამ სამუშაოს მიზანია პრაქტიკულად გავეცნოთ ლაბორატორიულ პირობებში სოდასთან რკინის ოქსიდის შეცხობისა და შენაცხობიდან ნატრიუმის ჰიდროქსიდის გამოტუტვის პროცესის თანამიმდევრობას, პროცესის რეჟიმსა და კონტროლს, განვსაზღვროთ NaOH-ის გამოსავალი ტემპერატურის, შეცხობის ხანგრძლივობის, კაზმში Na_2CO_3 -ისა და Fe_2O_3 -ის რაოდენობრივი თანაფარდობისაგან დამოკიდებულებით.

ნახაზზე მოცემულია სოდისა და რკინის ოქსიდის შეცხობის ლაბორატორიული დანადგარის სქემა.

დანადგარი მილოვანი ელექტროღუმელია (1), რომელშიც ათავსებენ კაზმის წონაკიან რკინის ან ფაიფურის ნავს; კალიუმის ტუტის 40%-იანი ხსნარით შევსებული ორი

კალიაპარატის (3) დანიშნულებაა ფერიტის წარმოშობის პროცესში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის შთანთქმა. კალიაპარატების წონაში მატების მიხედვით საზღვრავენ გამოყოფილი CO_2 -ის საერთო რაოდენობას. კალიაპარატებს აყენებენ პარალელურად ისე, რომ შესაძლებელი იყოს აირის ნაკადის გადართვა ერთიდან მეორე შთამნთქმელში დროის გარკვეული პერიოდის შემდეგ. ამისათვის იყენებენ სამსვლიან ონკანს (7). როცა აირის ნაკადს მეორე შთამნთქმელში გადართავენ პირველს მოხსნიან და აწონიან. ასე ადგენენ დროის მოცემულ მონაკვეთში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის რაოდენობას.



ტემპერატურას ღუმელში ზომავენ თერმოწყვილით (5) და არეგულირებენ თერმორეგულატორით (6). კალიაპარატებს აერთებენ ასპირატორთან (4), რომლითაც ამოწმებენ დანადგარის ჰერმეტიულობას და ქმნიან მცირეოდენ ვაკუუმს აირის ნაკადის ღუმელსა და კალიაპარატებში მოძრაობისათვის.

სამუშაოს შემდეგი თანამიმდევრობით ატარებენ. ამზადებენ მოცემული შედგენილობისა და გრანულომეტრიის კაზმს. ამისათვის ანგარიშობენ კაზმის შედგენილობას და ტექნიკურ სასწორზე წონიან რკინის ოქსიდისა და სოდის განსაზღვრულ რაოდენობებს. მათ წინასწარ აქუცმაცებენ და ატარებენ სათანადო ზომის საცერში. იღებენ ფრაქციას მარ-

ცვლების ზომით – 0,05 მმ-დან 1-0,5 მმ-მდე. აწონილ სო-
დასა და რკინის ოქსიდს გულმოდგინედ ურევენ ფაიფურის
ჯამში ან როდინში.

წინასწარ გამოვარვარებულ ნავს წონიან და ყრიან
მასში 1-2 გ კაზმს.

ცდას ატარებენ 800-1050⁰C ტემპერატურულ შუალე-
დში. ღუმელს აცხელებენ რომელიმე არჩეულ ტემპერატურა-
მდე. ამავე დროს ამოწმებენ მის ჰერმეტიულობას ასპირა-
ტორის საშუალებით. შემდეგ გახურებულ ღუმელში შეიტანენ
წონაკიან ნავს და სწრაფად აერთებენ ღია ბოლოს წინასწარ
აწონილ კალიაპარატებთან ნახშირორჟანგის დასაჭერად. ნატ-
რიუმის ფერიტის წარმოქმნის კინეტიკის შესწავლისათვის
ყოველ 10 წთ-ში გადართავენ აირის ნაკადს სხვა კალი-
აპარატებში, ხოლო გამორთულ აპარატებს წონიან და წონის
ნამატის მიხედვით საზღვრავენ დროის მოცემულ პერიოდში
გამოყოფილი და შთანთქმული CO₂-ის რაოდენობას.

ცდას ატარებენ პედაგოგის მიერ მიცემული დავალე-
ბის მიხედვით, 1-2 სთ-ის განმავლობაში.

ცალკეული კალიაპარატების აწონით მიღებული მონა-
ცემების სფუძველზე მსჯელობენ დროის მიხედვით ფერიტის
წარმოქმნის რეაქციის მიმდინარეობაზე. ამისათვის ცალკეულ
აპარატში შთანთქმული ნახშირორჟანგის რაოდენობას შეაფა-
რდებენ კაზმის წონაკში თეორიულად არსებულ მის საერთო
რაოდენობასთან, მიღებულ სიდიდეს გამოსახავენ პროცენ-
ტებში და ადვენენ დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში ნახში-
რორჟანგის გამოსავლის ცხრილს. ამ მონაცემებით აგებენ
მრუდს კოორდინატებში: CO₂-ის გამოსავალი – დრო, რო-
მელიც გამოსახავს პროცენტის მიმდინარეობას დროის განსა-
ზღვრულ მონაკვეთში.

ცდის დამთავრების შემდეგ, რაც შეიმჩნევა იმით, რომ
კალიაპარატები წონაში აღარ იმატებს, ფერიტიან ნავს გამო-
იღებენ ღუმლიდან და დგამენ ექსიკატორში. შემდეგ ატარებენ

მეორე ცდას, ცვლიან რა მოცემულობის მიხედვით ტემპერა-
ტურას ღუმელში, კაზმის შედგენილობას, ნაწილაკების ზომა-
სა და სხვ. საჭიროების შემთხვევაში ატარებენ მესამე და
მეოთხე ცდასაც. შედეგებს ყველა შემთხვევაში ამუშავებენ
ზემოთ აღწერილი წესით.

ცდების დამთავრების შემდეგ მიღებული ფერიტის ნი-
მუშებს ცალ-ცალკე გამოტუტავენ წყლით და საზღვრავენ
ნატრიუმის ტუტის გამოსავალს ანუ კაუსტიფიკაციის ხა-
რისხს. ამით ამოწმებენ რეაქციის პროდუქტების საერთო
გამოსავალს, რომელიც დაადგინეს გამოყოფილი ნახშირ-
ორჟანგის მიხედვით.

მიღებული შენაცხობის გამოტუტვისათვის ნავის შიგ-
თავსი გადააქვთ 200 სმ³ მოცულობის ჭიქაში. თუ შენაც-
ხობი ნავიდან ძნელი ამოსაღებია მას მთლიანად ათავსებენ
ჭიქაში; წინასწარ სხვა ჭიქაში აღულებამდე აცხელებენ 200-
250 სმ³ გამოხდილ წყალს; ნავიან ჭიქაში ასხამენ დაა-
ხლოებით 50 სმ³ ცხელ წყალს და რამდენიმე წუთის გან-
მავლობაში ურევენ მინის წკირით. შემდეგ ჭიქას დგამენ
ელექტროლუმელზე და აცხელებენ ხსნარს აღულებამდე. ფე-
რიტს გამოტუტავენ წყლის აღნიშნული რაოდენობით 10 წთ-
ის განმავლობაში; შემდეგ ნარევს აყოვნებენ დალექვამდე და
ხსნარი ფრთხილად გადააქვთ ფილტრზე დეკანტაციით. ამის
შემდეგ ჭიქაში ასხამენ ცხელი წყლის ახალ ულუფას და გა-
ნაგრძობენ გამოტუტვას, აგრძელებენ რა მასის მორევასა და
შეთბობას, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი. შენაცხობს ანა-
ლოგიურად ამუშავებენ ცხელი წყლით კიდევ ორჯერ, თითო-
ეული გამოტუტვის შემდეგ ხსნარი დეკანტაციით გადააქვთ
ფილტრზე, შემდეგ კი საზომ კოლბაში.

მიღებულ ფილტრატს აცივებენ, საზომ კოლბას ავ-
სებენ ჭედმდე და ატარებენ ხსნარის ანალიზს ნატრიუმის
ტუტისა და სოდის შემცველობაზე. ცდის შედეგების მიხედ-
ვით ანგარიშობენ კაუსტიფიკაციის ხარისხს და პროდუქ-

ტების გამოსავალს თეორიულად შესაძლებელი მაქსიმალური გამოსავლის მიმართ. ცდისა და ანგარიშის შედეგები შეაქვთ ცხრილში.

სოდისა და ნატრიუმის ტუტის რაოდენობათა განსაზღვრა ხსნარში მათი ერთდროულად არსებობისას დაფუძნებულია ხსნარის სინჯის გატიტვრაზე სხვადასხვა ინდიკატორების გამოყენებით ან ბარიუმის ქლორიდით Na_2CO_3 -ის წანასწარ დალექვაზე.

ორი ინდიკატორით სინჯის გატიტვრის მეთოდი

ეს მეთოდი ემყარება ინდიკატორების – ფენოლფტალეინისა და მეთილნარინჯის – ფერის ცვლილებას pH-ის მნიშვნელობათა სხვადასხვა ინტერვალში.

საანალიზო სინჯის გატიტვრით მეთილნარინჯის თანაობისას განისაზღვრება ხსნარის საერთო ტუტიანობა ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3$), რადგანაც ინდიკატორის ფერის შეცვლა ხდება მჟავა არეში, როცა pH არის 3-4,5. იგივე ხსნარის ფენოლფტალეინის თანხლებით გატიტვრისას განისაზღვრება ნატრიუმის ტუტე და სოდის რაოდენობის ნახევარი ($\text{NaOH} + 0,5\text{Na}_2\text{CO}_3$), ე. ი. ინდიკატორი ფერს იცვლის სუსტ ტუტე გარემოში – pH = 8-9,5 ინტერვალში, რომელიც პასუხობს Na_2CO_3 -ის NaHCO_3 -ში გადასვლას.

ანალიზისათვის იღებენ 25 სმ³ ფილტრატს, ათავსებენ კონუსურ კოლბაში, ტიტრავენ HCl-ის 0,1 ნ ხსნარით ფენოლფტალეინის თანაობისას ხსნარის გაუფერულებამდე და იწერენ მარილმჟავას დახარჯულ რაოდენობას (V_1 , სმ³). ხსნარის იმავე სინჯში ჩაასხამენ მეთილნარინჯის ორ-სამ წვეთს და გატიტრავენ კვლავ HCl-ის 0,1 ნ ხსნარით ყვითელი შეფერილობის ვარდისფერში გადასვლამდე.

ფენოლფტალეინისა და მეთილნარინჯის თანაობისას სინჯის გატიტვრაზე დახარჯული მჟავას საერთო რაოდენობა პასუხობს საერთო ტუტიანობას და შეადგენს V_2 სმ³-ს. სინჯში NaOH-ის შემცველობის ეკვივალენტური HCl-ის რაოდენობა იქნება $2V_1 - V_2$, ხოლო NaOH-ის რაოდენობა იქნება $(2V_1 - V_2) \cdot 0,004$ გ. ნახშირმჟავა ნატრიუმის გატიტვრაზე დახარჯული HCl-ის რაოდენობა იქნება $2(V_2 - V_1)$, ხოლო Na_2CO_3 -ის რაოდენობა სინჯში $2(V_2 - V_1) \cdot 0,0053$ გ.

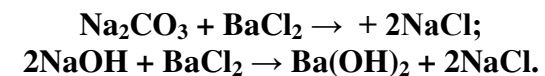
სოდის კაუსტიფიკაციის ხარისხი გამოითვლება ფორმულით:

$$X_1 = \frac{2V_1 - V_2}{V_2} \cdot 100\% .$$

ბარიუმის ქლორიდით დალექვის მეთოდი

ანალიზის მსვლელობა ასეთია: საერთო ტუტიანობის განსასაზღვრავად 25 სმ³ ფილტრატი გადააქვთ კონუსურ კოლბაში, აზავებენ გამოხდილი წყლით 50 სმ³-მდე, უმატებენ 2-3 წვეთ მეთილნარინჯს და ტიტრავენ 0,1 ნ გოგირდმჟავით ან მარილმჟავით ყვითელი ფერის ვარდისფერში გადასვლამდე. საერთო ტუტიანობის განსაზღვრაზე დახარჯულ მჟავას რაოდენობას აღნიშნავენ V_1 -ით, სმ³.

ნატრიუმის ტუტის განსასაზღვრავად მეორე სინჯი, ასევე 25 სმ³, გადააქვთ კონუსურ კოლბაში, აზავებენ წყლით 50 სმ³-მდე და ჭარბად უმატებენ ბარიუმის ქლორიდს (BaCl_2 -ს 10%-იანი ხსნარის დაახლოებით 30 სმ³-ს). ამ დროს წარმოიქმნება უხსნარი ბარიუმის კარბონატი და ჰიდროქსიდი. მიმდინარე რეაქციები შეიძლება ასე გამოვსახოთ:



სინჯის მარილმჟავით შემდგომი გატიტრისას განისაზღვრება OH⁻ იონების რაოდენობა, რაც სინჯში NaOH-ის საწყისი რაოდენობის შემცველობის ეკვივალენტურია. ნატრიუმის კარბონატის დაღეჭვის შემდეგ სინჯს უმატებენ ფენოლფტალეინის რამდენიმე წვეთს და მაშინვე ნელ-ნელა ტიტრირავენ მარილმჟავის 0,1 ნ ხსნარით, თან ფრთხილად ურევვენ, რადგანაც სინჯის დიდხანს დაყოვნება ჰაერზე და ინტენსიური მორევა იწვევს ჰაერიდან CO₂-ის მნიშვნელოვან შთანთქმას. მჟავას დახარჯულ რაოდენობას აღნიშნავენ V₂-ით, სმ³; იგი შეესაბამება ხსნარში NaOH-ის შემცველობას.

სხვაობა V₁-V₂ შეესაბამება სოლის შემცველობას ხსნარში. შეაბამისად, NaOH-ის რაოდენობა ხსნარის სინჯში შეადგენს V₂•0,004 გ, ხოლო Na₂CO₃-ისა – (V₁ - V₂)•0,0053 გ-ს.

კაუსტიფიკაციის ხარისხი გამოითვლება ფორმულით:

$$X_1 = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100\%.$$

ნატრიუმის ტუტის საერთო გამოსავალი:

$$X_2 = \frac{G_{\text{ფაქტ.}}}{G_{\text{მაქს.}}} \cdot 100\%,$$

სადაც G_{ფაქტ.} არის შენაცხოების გამოტუტვისას პრაქტიკულად მიღებული NaOH-ის რაოდენობა, გ;
G_{მაქს.} – NaOH-ის რაოდენობა, რომელიც შეესაბამება კაზმის წონაკში არსებული სოლის სრულ კაუსტიფიკაციას, გ.

ც ხ რ ი ლ ი

კაზმის წონა, გ	ტემპერატურა, °C	Na+2CO ₃ :Fe ₂ O ₃ , მოლი:მოლი	შეცხობის ხანგრძლივობა, წთ	ალიაპარატის მატება წონაში, გ	წონაკიდან გამოყოფილი ნახშირორჟანგის რაოდენობა						მიღებული ტუტის მდგენლობა, გ/ლ	კაუსტიფიკაციის ხარისხი, გ/ლ
					10	20	30	40	50	60		

ლიტერატურა

А. Я. Авербух и др. Практикум по общей химической технологии. Москва. Высшая школа. 1979.

III სამუშაო

ნავთობპროდუქტების სიბლანტის განსაზღვრა

სიბლანტე ნავთობპროდუქტების მეტად მნიშვნელოვანი თვისებაა. მას განსკუთრებული მნიშვნელობა აქვს საცხი ზეთებისათვის, რომელთა საექსპლოატაციო თვისებები, ძირითადად სწორედ სიბლანტეზეა დამოკიდებული და მისი სიდიდით განისაზღვრება. ამა თუ იმ ზეთის სიბლანტეზე დამოკიდებულია მისი უნარი შეცვალოს მშრალი ხახუნი სითხოვანით იმ ტემპერატურაზე, რომელზედაც უხდება მუშაობა მოცემულ მექანიკურ კვანძს.

სიბლანტეს, ანუ შინაგან ხახუნს, უწოდებენ სითხის თვისებას წინააღმდეგობა გაუწიოს მისი ნაწილების გადაადგილებას (სრიალს ან ძვრადობას), რასაც შეიძლება იწვედეს გარეშე ძალების ზემოქმედება. განასხვავებენ დინამიკურ, კინემატიკურ და ფარდობით (პირობით) სიბლანტეს. დინამიკური სიბლანტე ეწოდება სითხეებისა და გაზების თვისებას, რომელიც ახასიათებს მათ წინააღმდეგობას სრიალის ან ძვრადობის მიმართ. მის ერთეულად მიღებულია წინააღმდეგობა, რომელიც აღიძვრება სითხეში მისი ორი ისეთი ფენის ურთიერთგადაადგილების შედეგად, რომელთა ფართობია 1 სმ^2 , მათ შორის მანძილი – 1 სმ , მათზე მოქმედი გარეშე ძალა – 1 დინი, გადაადგილების სიჩქარე – 1 სმ/წმ ; დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი აღინიშნება \mathbf{m} ასოთი. მისი განზომილება ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში არის $\frac{\text{ნ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2}$, რომელსაც პუაზიელი ეწოდება. დინამიკურ სიბლანტეს

პრაქტიკულად გამოხატავენ $\frac{\text{დინი} \cdot \text{წმ}}{\text{სმ}^2}$ -ებში, რაც უდრის

$\frac{\text{ბ}}{\text{სმ} \cdot \text{წმ}}$ -ს და რომელსაც პუაზი (პზ) ეწოდება. იყენებენ, აგრეთვე, უფრო მცირე ერთეულებს, როგორცაა სანტიპუაზი (სპზ), მილიპუაზი (მპზ) და მიკროპუაზი (მკპზ). წყლის დინამიკური სიბლანტე მიღებულია

$$1,005 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ნ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2} \approx 1,005 \frac{\text{მნ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2} \approx 1 \text{ სპზ-ის ტოლად.}$$

კინემატიკური სიბლანტე \mathbf{n} არის მოცემულ ტემპერატურაზე სითხის ან აირის დინამიკური სიბლანტისა და სიმკვრივის ფარდობა $\nu = \frac{\mu}{\rho}$. ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში კინემატიკური სიბლანტის განზომილებაა $\frac{\text{მ}^2}{\text{წმ} \cdot \text{გ}}$. ისეთი ნაკადის სიბლანტე, რომლის დინამიკური სიბლანტეა $1 \frac{\text{ნ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2}$ და სიმკვრივე – $1 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}$.

CGS სისტემაში კინემატიკური სიბლანტის ერთეულად მიღებულია *სტოქსი* (სტ). სტოქსი ისეთი სითხის სიბლანტეა, რომლის სიმკვრივე არის $1 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}$ და 1 სმ -ით დაშორებული $1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}}$ სიჩქარით მოძრავი მისი 1 სმ^2 ფართობის მქონე ფენების ურთიერთგადაადგილებას წინააღმდეგობას უწევს 1 დინ ძალა. $1 \text{ სტოქსი (სტ)} = 100 \text{ სანტოსტოქსი (სსტ)} = 100 \text{ მილისტოქსი (მსტ)}$.

დინამიკური და კინემატიკური სიბლანტეები, რომლებიც სავსებით განსაზღვრული, კონკრეტულ ერთეულებში გამოხატული ფიზიკური მახასიათებლებია, გამოიყენება როგორც საანგარიშო სიდიდეები. ფარდობითი (პირობითი) სიბლანტე – *ფს* – კი გამოიყენება ნავთობპროდუქტების პრაქტიკული და-

ხასიათებისათვის და როგორც საანგარიშო პარამეტრი არ იხმარება. ის გამოხატავს ϵ ტემპერატურაზე მოცემული პროდუქტის დინამიკური სიბლანტის ფარდობას ϵ_1 ტემპერატურაზე წყლის დინამიკურ სიბლანტესთან ($\mu_{\text{წყ},t_1}$):

$$\text{ფს} = \frac{\mu_i}{\mu_{\text{წყ},t_1}}$$

სიბლანტეს ხშირად გამოხატავენ პირობით ერთეულებში – გრადუსებში ან წამებში. ეს არის 200 სმ³ საკვლევი პროდუქტის განსაზღვრულ ტემპერატურაზე გამოდინების დროის ფარდობა იმავე რაოდენობის დისტილირებული წყლის 20⁰ C-ზე გამოდინების დროსთან და აღინიშნება ფს-ით. ზოგჯერ პირობით სიბლანტეს საზღვრავენ როგორც სითხის გარკვეული რაოდენობის გამოდინების დროს სტანდარტულ პირობებში.

პირობითი სიბლანტის განსაზღვრა რეკომენდებულია ისეთი ნავთობპროდუქტების დასახასიათებლად, რომლებიც გამოცდის პროცესში უწყვეტი ჭავლის სახით გამოდინდება. ჩვეულებრივ ტემპერატურის გადიდებით სიბლანტე იზრდება, ხოლო შემცირებით – მცირდება.

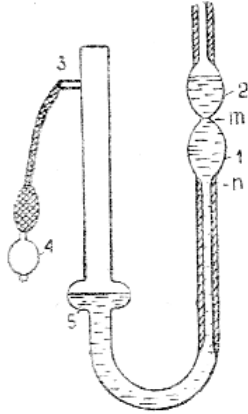
განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მონაცემები, როლებიც ახასიათებს ტემპერატურის მიხედვით საცხი ზეთების სიბლანტის ცვლილებას. პრაქტიკაში მათ სიბლანტის ინდექსით გამოხატავენ. რაც ნაკლებია ზეთის სიბლანტის ტემპერატურული ცვლილებები. მით მაღალია მისი საექსპლუატაციო თვისებები და, შესაბამისად, ხარისხი. ამრიგად, ზეთების დასახასიათებლად საჭიროა არა მარტო სიბლანტის, არამედ სიბლანტის ინდექსის, ე. ი. მისი ტემპერატურული ცვლილების ცოდნაც.

სიბლანტის განსაზღვრის მეთოდები

სიბლანტის განსაზღვრა, როგორც აღვნიშნეთ, შეიძლება იყოს აბსოლუტური ან ფარდობითი. კლასიკური აბსოლუტური მეთოდებია: 1) კაპილარების, 2) მბრუნავი ცილინდებისა და 3) ვარდნილი ბურთულის მეთოდები. გაზომვის პირველი ჯგუფის მეთოდებში იყენებენ სხვადასხვა ხელსაწყოებს, რომელთაგან ყველაზე მარტივი და გავრცელებულია ვისკოზიმეტრები. კაპილარული ვისკოზიმეტრი U-სებრი მილია, რომლის ერთ მუხლში ჩადგმულია სიფართოვეში გარდამავალი კაპილარი. კაპილარული ვისკოზიმეტრებით სიბლანტის განსაზღვრა გულისხმობს მუშა მოცულობიდან (მონიშნულია წრიული ხაზებით) კაპილარში სითხის გადინების დროის განსაზღვრას. არსებობს ვისკოზიმეტრების რამდენიმე ათეული მოდიფიკაცია, რომლებითაც საზღვრავენ აბსოლუტურ ან ფარდობით სიბლანტეს (0,001-დან 100 პუასამდე) ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში. ამ ხელსაწყოებიდან ყველაზე უფრო გავრცელებულია ოსტვალდის, ოსტვალდ-პინკევიჩის, უბელოდეს, პინკევიჩ-მიტროფანოვასა და სხვა ვისკოზიმეტრები. ნახ.1-ზე მოცემულია პინკევიჩ-მიტროფანოვას ვისკოზიმეტრი.

ვისკოზიმეტრს ათავსებენ წყლიან მინის ჭურჭელში ისე, რომ მისი გაფართოებული ნაწილი (5) ჩაყურსული იყოს წყალში და აცხელებენ განსაზღვრულ ტემპერატურამდე, როცა წყალი მიიღებს საჭირო ტემპერატურას აყოვნებენ 5-10 წუთი და იწყებენ ცდას. ვისკოზიმეტრში ასხამენ საკვლევ სითხეს ისეთი რაოდენობით, რომ გაფართოებული ნაწილი შეივსოს ნახევრამდე. წნევის საშუალებით, რომელსაც ქმნიან რეზინის ბუმბით (4), ნავთობპროდუქტი გადაჰყავთ პირველი ბირთვიდან მეორეში. გამოდინების დროს აითვლიან სითხის m -დან n მენისკამდე მოძრაობისას. ბირთვი (5) დაბა-

ლი და განიერია სითხის მოძრაობისას ჰიდრავლიკური ცდომილებების თავიდან ასაცილებლად.



ნახ. 1. პინკევიჩ-მიტროფანოვას ვისკოზიმეტრი

პროდუქტის გამოდინების მიღებული დრო (t), გამრავლებული პროდუქტის კუთრ (d) წონასა და ხელსაწყო (k) მუდმივაზე, არის პროდუქტის აბსოლუტური სიბლანტე პუაზებში:

$$h = k \cdot t \cdot d.$$

ხელსაწყო (k) მუდმივას ანგარიშობენ ფორმულით:

$$k = \frac{\eta_0}{d_0 \cdot t_0},$$

სადაც η_0 არის იმ სითხის აბსოლუტური სიბლანტე, რომლითაც აღგენენ ხელსაწყო მუდმივას; d_0 – ამავე სითხის კუთრი წონა, გ/სმ³;

t_0 – ამ სითხის ვისკოზიმეტრში გამოდინების დრო, წმ.

ხელსაწყო მუდმივას განსაზღვრისათვის საჭიროა მხოლოდ t_0 -ის დადგენა, დანარჩენ ორ სიდიდეს ცხრილებში ნახულობენ.

ქვემოთ მოყვანილია ცხრილი დისტილირებული წყლისათვის.

ტემპერატურა, °C	აბსოლუტური სიბლანტე, პუაზი	კუთრი წონა, გ/სმ ³
0	0,01797	0,99838
10	0,01309	0,99978
20	0,01008	0,99825
30	0,00800	0,99567
40	0,00653	0,99224
50	0,00549	0,98807
60	0,00316	0,98534

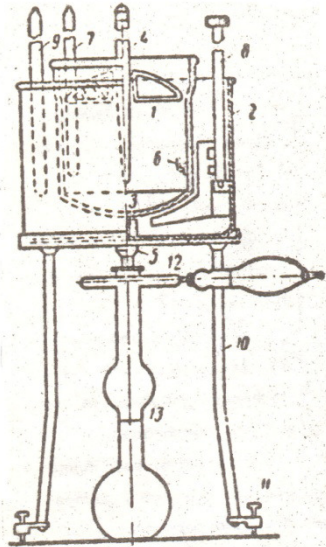
ხელსაწყო მუდმივას გამოთვლა მოსახერხებელია, აგრეთვე, ბენზოლის საშუალებითაც, რომლისთვისაც 20°C-ზე $\eta_0 = 0,0547$ პ-ს, ხოლო $d_0 = 0,879$ გ/სმ³; 50°C-ზე $\eta_0 = 0,00436$, $d_0 = 0,847$ გ/სმ³-ს.

აბსოლუტური სიბლანტის გაყოფით კუთრ წონაზე მივიღებთ კინემატიკურ სიბლანტეს სტოქსებში.

რადგანაც ნავთობპროდუქტების ასორტიმენტი მეტად დიდია და მათი სიბლანტეებიც ძლიერ განსხვავებული, მათი შესწავლისათვის იყენებენ სხვადასხვა ვისკოზიმეტრებს, რომლებიც ერთმანეთისაგან, ძირითადად, კაპილარების დიამეტრით განსხვავდება. რაც უფრო ბლანტია შესასწავლი ნივთიერება, მით უფრო დიდი დიამეტრის კაპილარიანი ვისკოზიმეტრის გამოყენებაა ხელსაყრელი. თუ ძლიერ ბლანტი სით-

ხეების შესასწავლად წვრილკაპილარიანი ვისკოზიმეტრი გამოიყენეთ გამოდინებას დიდი დრო დაჭირდება, რაც უარყოფითად იმოქმედებს გაზომვის სიზუსტეზე.

ფარდობითი სიბლანტის განსაზღვრისათვის ხშირად იყენებენ ენგლერის, ბარბიეს, რედფურდის, სეიბოლტისა და სხვა ვისკოზიმეტრებს. პრაქტიკაში საკმაოდ გავრცელებულია ე.წ. ВУ-ს ტიპის (ВИСКОЗИМЕТР УСЛОВНЫЙ) ვისკოზიმეტრები (ნახ. 2). მიღებულია ფარდობითი სიბლანტის გამოსახვა ВУ-ს



ნახ.2. ვისკოზიმეტრი ფარდობითი სიბლანტის განსაზღვრისათვის

ერთეულებში რომლებიც რიცხობრივად ემთხვევა ენგლერის გრადუსებს ($^{\circ}E$). ასეთი ერთეული გამოხატავს 200 см^3 საკვლევი სითხის გამოდინების დროის ფარდობას 20° -ზე 200 см^3 წყლის გამოდინების დროსთან. ვისკოზიმეტრი ВУ ორი თითბრის ცილინდრისაგან შედგება. შიგა ცილინდრი 1 ივსება საკვლევი სითხით, ხოლო გარე 2 – ასრულებს წყლის ან ზეთის აბაზანის როლს. ცილინდრებს აქვთ საერთო ხერხეული 3, რომელიც იხურება ხის ღეროთი 4.

ხერხელში ჩადგმულია თითბრის მილი 5, რომელშიც ჩაწნეხილია გაშლიფულზედაპირიანი პლატინის კაპილარი (ე. წ. ვისკოზიმეტრის კაპილარი). შიგა ცილინდრის კველზე ფსკერიდან თანაბარ მანძილზე მიმაგრებულია სამი მოხრილი ღერო 6, საკვლევი სითხის დონის საჩვენებლად და ხელსა-

წყოს ზუსტად ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში დასაყენებლად. ამ ცილინდრის მოცულობა ფსკერიდან ნიშნულებამდე 240 см^3 -ია. შიგა ცილინდრს აქვს თითბრის სახურავი, რომელშიც დატანებულია ორი ხერხელი: ერთში ჩადგმულია ხის ღერო, ხოლო მეორეში – თერმომეტრი 7. გარე ცილინდრის შიდა კველზე მიმაგრებულია სარევი 8 და თერმომეტრი 9. გამოსასვლელი მილიდან 5 გამოდინებული სითხის რაოდენობა ფიქსირდება საზომი კოლბით 13, რომლის მოცულობა ყელზე გაკეთებულ ჭდემდე არის 200 см^3 .

ექსპერიმენტის დაწყებამდე საჭიროა ხელსაწყოს წყლის რიცხვის დადგენა. ვისკოზიმეტრის წყლის რიცხვი (მუდმივა) არის $20^{\circ}C$ -ზე 200 см^3 დისტილირებული წყლის გამოდინების დრო (წმ). წყლის რიცხვის განსაზღვრისათვის შიგა ცილინდრს გულმოდგინედ რეცხავენ თანამიმდევრულად ბენზინით, სპირტით და დისტილირებული წყლით. შემდეგ მასში ასხამენ დისტილირებულ წყალს ნიშნულების დაფარვამდე; აყენებენ ხელსაწყოს ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში და ჩამოცლიან ზედმეტ წყალს. ხელსაწყოს ახურავენ სახურავს და აცხელებენ საჭირო ტემპერატურამდე, ურვენ რა სარევით აბაზანაში, ხოლო შიგა ცილინდრში – სახურავში ჩადგმული თერმომეტრით. როდესაც ტემპერატურა მიაღწევს $20^{\circ}C$ -ს აყოვნებენ რამდენიმე წუთს, შედგამენ საზომ კოლბას გამოსასვლელი ხერხელის ქვეშ და ფრთხილად ამოიღებენ ხის ღეროს 4, ჩართავენ რა მამინვე წამსაზომს; საზღვრავენ 200 см^3 წყლის გამოდინების დროს (ანათვალი აიღება ძირა მენისკის მიხედვით). სამი განსაზღვრიდან იანგარიშება საშუალო არითმეტიკული, ამასთან სხვაობა ცალკეულ გაზომვებს შორის $0,5 \text{ წმ}$ -ს არ უნდა აღემატებოდეს. სტანდარტული ვისკოზიმეტრების წყლის რიცხვი უნდა იყოს $50-52 \text{ წმ}$. თუ მუდმივას მიღებული მნიშვნელობა მეტია 52 -ზე ან ნაკლებია 50 -ზე, ვისკოზიმეტრი საშუალოდ არ გამოდგება.

სუფთა ნავთობპროდუქტს, რომელიც არ შეიცავს წყალსა და მექანიკურ მინარევებს, აცხელებენ იმ ტემპერატურაზე 1-3⁰-ით ნაკლებად, რომელზედაც უნდა განისაზღვროს სიბლანტე და ასხამენ ბენზინით გარეცხილ და ჰაერით გამშრალ ცილინდრში. აბაზნაში ტემპერატურას ადიდებენ 1,5-2⁰-ით, მოცემულთან შედარებით. როცა საკვლევი სითხის ტემპერატურა მიაღწევს განსაზღვის ღონეს დააყოვნებენ ამ ტემპერატურაზე 5 წთ და იწყებენ ექსპერიმენტს.

პირობით სიბლანტეს უპირატესად საზღვრავენ 20, 50 და 100⁰-ზე. დააყენებენ რა სითხის ღონეს ცილინდრში, აბაზნაში ამცირებენ ტემპერატურას იმდენად, რომ იგი 0,2⁰-ით მეტი იყოს განსაზღვრისაზე და ინარჩუნებენ მას ცდის ბოლომდე. შემდეგ ისევე იქცევიან, როგორც წყლის რიცხვის განსაზღვრისას. როცა საზომ კოლბაში საკვლევი ნავთობპროდუქტის ღონე მიაღწევს ნიშნულს, წამსაზომს გამორთავენ (ქაფი მხედველობაში არ მიიღება). გამოდინების დროს საზღვრავენ 0,2 წმ-ის სიზუსტით. პირობით სიბლანტეს ანგარიშობენ ფორმულით:

$$\kappa_s = \frac{\tau_t}{\tau_{წყ, 20}}$$

სადაც κ_s არის პროდუქტის პირობითი სიბლანტე ცდის ტემპერატურაზე;

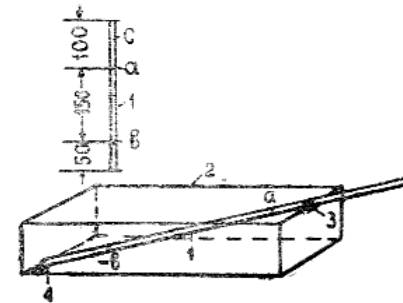
t_t – 200სმ³ ნავთობპროდუქტის ვისკოზიმეტრიდან გამოდინების დრო t ტემპერატურაზე, (წმ);

$t_{წყ, 20}$ – 200 სმ³ წყლის გამოდინების დრო 20⁰C-ზე (წყლის რიცხვი), წმ.

მონაცემები, რომლებიც ახასიათებს პირობით სიბლანტეს, შეიძლება გამოვიყენოთ აბსოლუტური სიბლანტის მი-

ახლოებით შეფასებისათვის შემდეგი ფორმულების საშუალებით:

$$\mu_t = \left(0,007313s_t - \frac{0,0631}{3s_t} \right) \rho; \quad \nu_t = 0,007313s_t - \frac{0,0631}{3s_t}.$$

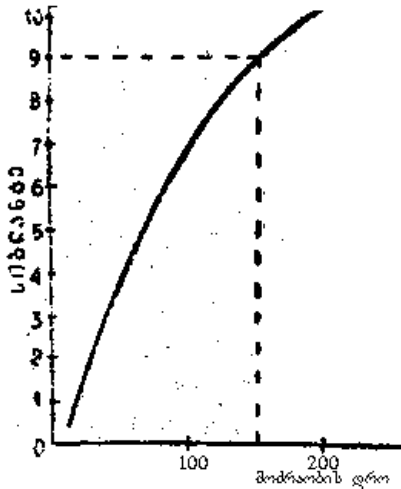


ნახ.3 გურვიჩის ვისკოზიმეტრი

მაღალმოლეკულური ბლანტი ნავთობპროდუქტები კაპილარში ძნელად მოძრაობს; მათ გამოდინებას დიდი დრო ჭირდება, რაც დიდ ცდომილებას იწვევს, ამიტომ ასეთი ნივთიერებების სიბლანტეს საზღვრავენ ე. წ. გურვიჩის ვისკოზიმეტრული მილით, რომლის მუშაობის პრინციპი ემყარება მყარი სხეულების სითხეში ვარდნას. გურვიჩის მილოვანი ვისკოზიმეტრი (ნახ.3) უბრალო მილია 1, რომლის შიგა დიამეტრი 4-6 მმ-ია, ხოლო სიგრძე 250-300 მმ. მილის ერთი ბოლო დახურულია. ღია ბოლოდან 100 მმ-ის დაშორებით გაკეთებული აქვს ერთი ჭდე – a , დახურული ბოლოდან 50 მმ-ის დაშორებით მეორე ჭდე – b . ab მანძილი შეიძლება იყოს 15-20 სმ. მილში ასხამენ საკვლევ პროდუქტს a ჭდეზე ზევით და ათავსებენ ლითონის ან მინის აბაზანაში.

აბაზანაში ასხამენ სითხეს, რომელიც 10^0 -ით უფრო ცხელია განსაზღვრის ტემპერატურაზე. საჭირო ტემპერატურის დამყარების შენდევ მილში ჩაუშვებენ 4-6 მმ დიამეტრის ფოლადის ბურთულას და ინიშნავენ დროს, რომელსაც ბურთულა ანდომებს ab მანძილის გავლას. იმისათვის, რომ ვისკოზიმეტრულ მილს ყოველთვის ერთი და იგივე მდგომარეობა ჰქონდეს, იგი ძვეს აბაზანის ამოჭრილ ბუდეში (4). ცდის გასამეორებლად მილში უშვებენ ისეთივე მეორე ბურთულას იმავე ტემპერატურაზე. საკვლევი პროდუქტის სიბლანტის დასადგენად საჭიროა გამოყენებული მილის დაკალიბრება. ამისათვის მოცემული ვისკოზიმეტრული მილით წინასწარ უნდა გაიზომოს ცნობილი სიბლანტის პროდუქტებში განსაზღვრული წონის ბურთულის მოძრაობის დრო და აიგოს დამოკიდებულების გრაფიკი ამ მილისათვის.

მე4 ნახაზზე მოცემულია მრუდი, სადაც ორდინატზე გადაზომილია ნავთობპროდუქტის პირობითი სიბლანტე, ხოლო აბსცისთა ღერძზე – მილში ბურთულის მოძრაობის დრო.



ნახ. 4

IV სამუშაო

ნავთობპროდუქტების კატალიზური კრეკინგი

ნავთობსა და მისი გადამუშავების პროდუქტებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს კაცობრიობისათვის. გარდა ძრავებისათვის აუცილებელი სხვადასხვა სახის საწვავისა, ნავთობისაგან ღებულობენ ამოსავალ ნედლეულს პლასტიკური მასების, ქიმიური ბოჭკოების, სინთეზური კაუჩუკების, გამრეცხი საშუალებების, სპირტებისა და სხვა მრავალფეროვანი ორგანული ნაერთების წარმოებისათვის.

უშუალოდ ნავთობის გადამუშავებით მიიღება თხევადი და აირადი საწვავი, ნავთი, გამსხნელები, საცხი ზეთები, კონსისტენციური საცხები, პარაფინი, ვაზელინი, ბიტუმი, სქელფისა, ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები – ეთილენი, პროპილენი, ბენზოლი, ტოლუოლი, ქსილოლები და სხვ., რომლებიც მნიშვნელოვანი ნედლეულია ქიმიური მრეწველობისათვის.

ნავთობი პარაფინული, ნაფტენური და არომატული ნახშირწყალბადების რთული ნარევი; მცირე რაოდენობით შეიცავს არანახშირწყალბადოვან ნაწილს, მაგალითად, გოგირდს, ნაფტენურ მჟავებს, მინერალურ ნივთიერებებსა და სხვ.

ნავთობსა და ნავთობპროდუქტებს ამუშავებენ ფიზიკური და ქიმიური მეთოდებით. ფიზიკური მეთოდები ემყარება განსხვავებას ნახშირწყალბადების ფიზიკურ თვისებებში, როგორცაა დუღილის ტემპერატურა, კრისტალიზაცია, ხსნადობა და სხვ. ფიზიკური მეთოდებიდან ყველაზე მეტად გავრცელებულია გამოხდა.

ნავთობის გადაამუშავების ქიმიური მეთოდები გული-სხმობს მის რთულ, ქიმიურ, დესტრუქციულ გარდაქმნებს, რომლებიც შეიძლება განიცადონ ნახშირწყალბადებმა ტემპერატურის, წნევის, კატალიზატორის გავლენით. ქიმიური მეთოდებიდან ყველაზე მეტად გავრცელებულია სხვადასხვა სახის კრეკინგები. კრეკინგის დროს ნახშირწყალბადების მოლეკულები იხლიჩება უფრო პატარა მოლეკულებად. იმავდროულად მიმდინარეობს უფრო მსხვილი მოლეკულების სინთეზის მეორეული პროცესები: იზომერიზაცია, პოლიმერიზაცია, ციკლიზაცია, კონდენსაცია და სხვ. კრეკინგს, ძირითადად, ნავთობიდან ბენზინის გამოსავლის გასადიდებლად იყენებენ. პრაქტიკაში დამუშავებულია თერმული და კატალიზური კრეკინგი. თერმულ კრეკინგს ატარებენ შერეულ (თხევად და ორთქლის) ფაზაში 350-500°C-ზე, 70 ატ წნევაზე, ან ორთქლის ფაზაში უფრო მაღალ ტემპერატურასა და ატმოსფერულ წნევაზე. თუ კრეკინგს 670-720°C ტემპერატურასა და ატმოსფერულ წნევაზე ატარებენ, მას პიროლიზს უწოდებენ. ამ დროს ნავთობის ნახშირწყალბადები უფრო ღრმა ქიმიურ გარდაქმნებს განიცდის.

ნავთობის თერმული კრეკინგის პროდუქტებია კრეკინგ-ბენზინი, კრეკინგ-აირი და კრეკინგ-ნარჩენი. ატარებენ სხვა ნავთობპროდუქტების კრეკინგსაც. მაგალითად, მაზუთის თერმული კრეკინგის დროს მიიღება: ბენზინი – 30-35%, აირები – 10-15% და ნარჩენი – 50-55%. ამ დროს მიღებული ბენზინის ოქტანური რიცხვი 70-მდეა.

ნავთობის გადაამუშავების ტექნოლოგიაში უმნიშვნელოვანესი მიღწევაა კრეკინგ-პროცესებში კატალიზატორების გამოყენება. ნავთობპროდუქტების კატალიზური გარდაქმნა საშუალებას გვაძლევს დიდი გამოსავლით მივიღოთ უფრო მაღალხარისხოვანი ბენზინი (77-82 ოქტანური რიცხვით), მსუბუქი, C₃-C₄ შედგენილობის ნაჯერი და უჯერი ნახშირწყალბადების ნარევი ორგანული სინთეზისათვის, ნავთ-გაზო-

ლის ფრაქციები. თერმული საგან განსხვავებით, კატალიზური კრეკინგის ბენზინი უფრო სტაბილურია (რადგან არ შეიცავს დიენურ ნაერთებსა და გოგირდს) და შედარებით მაღალი ანტიდეტონაციური თვისებები აქვს, რაც იზოალკანებისა და არომატული ნახშირწყალბადების დიდი რაოდენობით შემცველობით აიხსნება.

კატალიზური კრეკინგი, ჩვეულებრივ, ტარდება ორთქლის ფაზაში 450-520°C-ზე 1-2 ატ წნევაზე. ამ პირობებში პროცესი სულ რამდენიმე წამი გრძელდება, რადგან კატალიზური პროცესები განუზომლად სწრაფია, ვიდრე თერმული, მაგრამ უფრო რთულიც. ამ დროს მიმდინარე პროცესებში, დაშლის რეაქციების გარდა, ყველაზე მნიშვნელოვანია იზომერიზაციისა და წყალბადის გადანაწილების რეაქციები, რომლებიც განაპირობებს კრეკინგ-პროდუქტების მაღალ ხარისხს, და და გამკვრივების პროცესი, რის შედეგადაც კოქსი წარმოიქმნება.

კრეკინგის პროდუქტების გამოსავალსა და ხარისხზე მოქმედებს შემდეგი ფაქტორები: ნედლეულის სახე, კატალიზატორის შედგენილობა და აქტივობა, პროცესის წნევა და ტემპერატურა, რეაქტორში ნედლეულის მიწოდების მოცულობითი სიჩქარე და კატალიზატორის რეგენერაციის გარეშე კრეკინგის პროცესის განუწყვეტლად მიმდინარეობის ხანგრძლივობა.

კატალიზური კრეკინგის ჩასატარებლად იყენებენ სხვადასხვა შედგენილობისა და სხვადასხვა ხერხით დამზადებულ კატალიზატორებს. გამოყენებული კატალიზატორის ხარისხზე, ისევე როგორც კრეკინგ-პროცესის ტექნოლოგიურ რეჟიმზე, დამოკიდებულია ნედლეულის ქიმიური გარდაქმნის მიმართულება. მაგალითად, ძირითადად ალუმინისა და სილიციუმის ოქსიდების შემცველი კატალიზატორის გამოყენების დროს ნაფტენური ნახშირწყალბადები იხლიჩება და ხდება მათი პოლიმერიზაცია, ხოლო ქრომის ოქსიდის შემცველი კა-

ტალიზატორის გამოყენებისას მიმდინარეობს გადასამუშავებელი მასალის არომატიზაციის პროცესები და ა. შ. წვრილფოროვანი კატალიზატორი აირის დიდ გამოსავალს იძლევა, ამიტომ უფრო ხელსაყრელია მსხვილფოროვანის გამოყენება.

ბუნებრივ ალუმინსილიკატურ კატალიზატორებს ამზადებენ ალუმინსილიკატ მონტორილლონიტისაგან (ან სხვა ბუნებრივი ცეოლითებისაგან) მისი მჟავით დამუშავებით და ზოგჯერ ნიკელის, სპილენძის, მანგანუმისა და სხვა ლითონების დამატებით. ალუმინსილიკატურ კატალიზატორებს ხშირად სინთეზური გზით ღებულებენ ალუმინისა და სილიციუმის ჰიდროქსიდების ერთდროულად დალექვით შესაბამისი მარილხსნარებიდან და შემდგომი დეჰიდრატაციით. სინთეზური კატალიზატორები უფრო აქტიურია და მდგრადია მექანიკურად და თერმულად.

ნახშირწყალბადები აღსორბირდება კატალიზატორის ზედაპირზე და გარდაიქმნება. ამ პროცესების თანამიმდევრობა დაახლოებით ასეთია: აღსორბირების ყველაზე დიდი უნარი აქვთ არომატულ ნახშირწყალბადებს, შემდეგ უჯერ, ნაფტენურ და ბოლოს პარაფინულს. რთული არომატული ნახშირწყალბადები იხლიჩება და წარმოქმნის შედარებით მარტივ არომატულ და უჯერ ნაერთებს. უჯერ ნახშირწყალბადებში, ძირითადად, მიმდინარეობს წყალბადის გადანაწილების რეაქციები, რომელთა შედეგადაც წარმოიქმნება ნაჯერი და უფრო უჯერები. ამას მოყვება ხოლმე კოქსის წარმოქმნა კატალიზატორის ზედაპირზე.

ნაფტენური ნახშირწყალბადების გარდაქმნა უპირატესად ციკლების გახსნით გამოიხატება. ამას შეიძლება თან ახლდეს არომატიზაციისა და იზომერიზაციის რეაქციებიც. პარაფინული ნახშირწყალბადები ყველაზე ბოლოს იხლიჩება და წარმოქმნის ნაჯერ და უჯერ ნაერთებს.

კრეკინგ-პროცესში ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვს ტემპერატურას. იგი განსაზღვრავს ნახშირწყალბადების კატა-

ლიზური დაშლის ხარისხსა და სიჩქარეს. მით უმეტეს, რომ კატალიზატორების დამშლელი მოქმედება ვლინდება ტემპერატურათა შედარებით ვიწრო ინტრვალში. ჩვეულებრივ, კრეკინგ-პროცესის საშუალო ტემპერატურა არის 450-475°C. მისი გადიდება აღრმავებს ნახშირწყალბადების დაშლის პროცესს. წნევის გავლენა უმნიშვნელოა, რადგან კრეკინგ-პროცესი აღსორბციულ ფენაში მიმდინარეობს კატალიზატორის ზედაპირზე და არა მოცულობაში.

ნელეულის მიწოდების მოცულობითი სიჩქრე იცვლება ზღვრებში $0,1-10 \frac{\text{დმ}^3}{\text{სთ} \cdot \text{მ}^3 \text{კატ} - \text{ზე}}$; უფრო ხშირად იყენებენ

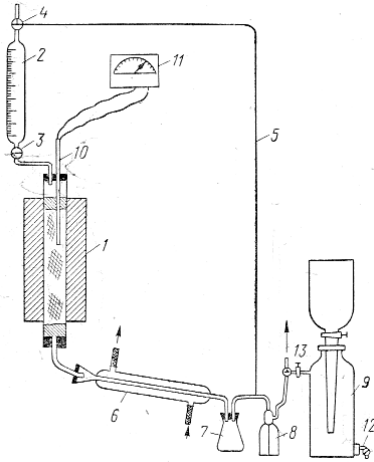
0,5-2 დმ³/სთ-ს. რაც მცირეა მოცულობითი სიჩქარე, მით უფრო მაღალია კრეკინგის ხარისხი; რაც უფრო ხანგრძლივია კრეკინგის პროცესი, სხვა თანაბარ პირობებში, მით უფრო ღრმაა გარდაქმნა.

დროთა განმავლობაში კატალიზატორის აქტივობა ეცემა მის ზედაპირზე კოქსის დალექვის გამო და საჭიროა მისი აღდგენა. კატალიზატორს აღადგენენ მასში ჰაერის გატარებით 500-600°C-ზე. ამ დროს კოქსი იწვის. კატალიზატორის ორ მომდევნო რეგენერაციას შორის განუწყვეტელი კრეკინგის ხანგრძლივობა არსებითად მოქმედებს პროცესის შედეგებზე; საქარხნო პირობებში იგი 10-30 წუთია.

კრეკინგის პროდუქტებია აირი, ბენზინი, ნავთ-გაზოილის ფრაქცია, კრეკინგ-ნარჩენი და კოქსი. აირის გამოსავალი საშუალოდ 4-7%-ია, ბენზინისა – 40-45%, კრეკინგ-ბენზინის ქიმიური შედგენილობა ასეთია: ნაფტენური ნახშირწყალბადები – 20-25%, უჯერი – 5-6%, პარაფინები – 45-50%, არომატული – 20-25%.

კატალიზური კრეკინგის გაზოილი პარაფინული შედგენილობის პროდუქტია. იგი წარმატებით გამოიყენება როგორც დიზელის საწვავი. ატარებენ აგრეთვე მის კრეკინგს

ბენზინის გამოსავლის გადიდების მიზნით. კატალიზატორზე დალეული კოქსის რაოდენობა, ნელეულის შედგენილობის, მისი მოცულობითი სიჩქარისა და პროცესის ტემპრატურული რეჟიმისაგან დამოკიდებულებით, 1-5%-ს შეადგენს.



ნახ. 1.

ნახ.1-ზე წარმოდგენილია კატალიზური კრეკინგის დანადგარის სქემა; მისი მწარმოებლურობაა 150-200 სმ³/სთ. რეაქტორი 1 ვერტიკალური ლუმელია, რომელშიც ჩადგმულია ძნელდნობადი მინის მილი, დიამეტრით 25-35 მმ, ხოლო სიმაღლით – 500-550 მმ. მილის ქვედა ნაწილში მოთავსებულ მინის წყობურზე ჩატვირთავენ კატალიზატორს; სავსე მილს თავზე მოაყრიან, აგრეთვე, მინის წყობურს, რომელზედაც ორთქლდება რეაქტორში მიწოდებული ნელეული. მილის ბოლოები იხურება რეზინის საცობებით. ზედა საცობში ჩადგმულია მკვებავი ბიურეტი 2 ონკანით 3 და ჯიბე თერმოწყვილისათვის 10. ბიურეტის მოცულობაა 300-400 სმ³. ქვედა საცობში ჩადგმულია რეაქციის პროდუქტების რეაქტორიდან მაცივარში გადასაყვანი მილი 6.

ბიურეტის ქვედა ონკანს 3 წინასწარ აგრადუირებენ რეაქტორში ნელეულის სასურველი სიჩქარით მისაწოდებლად; მისი ზედა სამსვლიანი ონკანი 4 აკავშირებს ბიურეტს ატმოსფეროსთან (როცა მას ავსებენ ნელეულით) და სისტემაში წნევის გამაწონასწორებელ ხაზთან 5 (დანადგარის მუშაობის პროცესში).

წყლის მაცივრის 6 დანიშნულებაა რეაქტორიდან გამოსული ორთქლის გაცივება და კონდენსაცია, ხოლო მიმღებისა 7, რომელშიც შედის გაცივებული კონდენსატი და კრეკინგ-აირი, თხევადი დისტილატის მოგროვება. მიმღებად გამოყენებულია ჩვეულებრივი მინის კოლბა. აირადი პროდუქტი მიმღებიდან 7 გადადის აბსორბერში 8, სადაც შთაინთქმება ბენზინი. შთაინთქმელად აბსორბერში ჩასხმულია სოლარის ზეთი; მისი დონე აბსორბერში მინიმალური უნდა იყოს (3-5 სმ) სისტემის წინააღმდეგობის შესამცირებლად. აბსორბერიდან გამოსული კრეკინგ-აირი გაზის საათის გავლით მიდის გამწოვ კარადაში. საათის პარალელურად სისტემაში ჩართულია ასპირატორი 9 საანალიზოდ აირის სინჯის ასაღებად; იგი შევსებულია სუფრის მარილის ნაჯერი ხსნარით (ეს აუცილებელია იმისათვის, რომ მასში არ გაიხსნას კრეკინგ-აირის კომპონენტები). თუ ასპირატორი დიდი მოცულობისაა იგი შეიძლება გამოვიყენოთ აბსორბერიდან გამოსული მთელი აირის შესაგროვებლად. რეაქტორში ტემპერატურა იზომება თერმოწყვილით 10, რომელიც შეერთებულია მილივოლტმეტრთან 11.

ექსპერიმენტის ჩატარების პირობები განისაზღვრება მოცემულობით, რომელშიც მითითებულია ნელეული, პროცესის ტემპერატურა, ნელეულის მიწოდების მოცულობითი ან წონითი სიჩქარე, პროცესის ხანგრძლივობა კატალიზატორის რეგენერაციის გარეშე და სხვ.

ნელეულის მიწოდების სიჩქარეს ადგენენ ჩატვირთული კატალიზატორის მოცულობიდან გამომდინარე – 0,5-2

მოცულობა ნედლეული 1 მოცულობა კატალიზატორზე სთ-ში. ცდის ხანგრძლივობა განისაზღვრება თხევადი პროდუქტის საკმარისი რაოდენობით მიღების საჭიროებიდან, რათა შემდეგ შესაძლებელი იყოს ბენზინის, ლიგროინის, გაზოილის გამოსავლის განსაზღვრა (სასურველია თხევადი პროდუქტი მივიღოთ არა ნაკლებ 100-150 სმ³). თუ რეაქტორში ჩატვირთულია 100-150 სმ³ კატალიზატორი და მიწოდების სიჩქარეა 2 მოცულობა ნედლეული 1 მოცულობა კატალიზატორზე საათში, ცდის ხანგრძლივობა შეიძლება 1 საათით განისაზღვროს. მიაზნეწონილია რეაქტორში ტემპერატურის რეგულირება რეოსტატის საშუალებით 450-500⁰C-ის ფარგლებში.

ცდის დაწყებამდე საჭიროა შეივსოს ბიურეტი ნედლეულით, ასპირატორი მარილხსნარით და შემოწმდეს დანადგარის ჰერმეტიულობა. სრული ჰერმეტიულობის მიღწევის შემდეგ ჩართავენ რეაქტორს ელექტროქსელში და როცა ღუმლის ტემპერატურა 300-400⁰C-ს მიაღწევს ერთხელ კიდევ ამოწმებენ დანადგარის ჰერმეტიულობას. საჭირო ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ იწყებენ ნედლეულის მიწოდებას დადგენილი სიჩქარით. ყოველ 5 წუთში ინიშნავენ სითხის დონესა და ტემპერატურას და შეაქვთ ცხრილში (I ცხრილი).

I ცხრილი

დრო	ტემპერატურა, ⁰ C	ნედლეულის რაოდენობა ბიურეტში, სმ ³	შენიშვნა
ცდის დასაწყისი			
— სთ — წთ			
5 წთ			
10 წთ			
.			
.			
ცდის დასასრული			
— სთ — წთ			

თუ ცდის ხანგრძლივობა 1 საათს აღემატება, ყოველი 1 საათის შემდეგ ატარებენ კატალიზატორის რეგენერაციას. ზუსტად ისე, როგორც პროცესის დამთავრების შემდეგ, ამოწვავენ ცდის განმავლობაში წარმოქმნილ ფის-კოქსოვან დანალექს კატალიზატორიდან. ამისათვის მკვებავი ბიურეტის ნაცვლად რეაქტორს მიუერთებენ ჰაერმბერს, ან ჰაერის მიმწოდებელ ასპირატორს. რეგენერაციის პროცესში რეაქტორში ჰაერის მიწოდების სიჩქარე უნდა იყოს 20-30 დმ³/სთ. ტემპერატურა 500-520⁰C-ს არ უნდა აღემატებოდეს. რეგენერაცია 1-3 სთ გრძელდება, დანალექის რაოდენობის მიხედვით. წვის პროდუქტებს აგროვებენ აირსაზომში. როცა იგი შეივსება იღებენ სინჯს საანალიზოდ CO₂-ის შემცველობაზე. შემდეგ აირსაზომიდან გამოდენიან აირს და მას კვლავ იყენებენ ახალი აირის დასაგროვებლად. რეგენერაციას წვევტენ როცა CO₂-ის შემცველობა 0,5%-ზე მეტი აღარ იქნება. რეგენერაცია დამთავრებულია მაშინაც, თუ რეაქტორიდან გამოსული აირი არ ამღვრევს კირიან წყალს. რეგენერაციის დამთავრებაზე მიუთითებს, აგრეთვე, ღუმელში ტემპერატურის შემცირება.

კატალიზური კრეკინგის პროცესის დამთავრების შემდეგ განსაზღვრავენ თხევადი პროდუქტების, აირისა და კოქსის გამოსავალს.

თხევადი პროდუქტების გამოსავალს (A) საზღვრავენ მიმღებისა 7 და აბსორბერის 8 აწონვის შედეგების მიხედვით ცდამდე და ცდის შემდეგ. A ტოლია მიმღებისა და აბსორბერის წონაში ნამატთა ჯამისა. მიღებული აირის მოცულობა განისაზღვრება აირსაზომის ან აირის საათის ჩვენებათა მიხედვით, ხოლო მისი მასა მოცულობისა და სიმკვრივის მიხედვით. კოქსოვანი დანალექის მასას ანგარიშობენ კატალიზატორის რეგენერაციის დროს მიღებული წვის პროდუქტების რაოდენობისა და მათში ნახშირორჟანგის შემცველობის მიხედვით.

წვის პროდუქტებში ნახშირორჟანგის საერთო მოცულობას მოცემული წნევისა და ტემპერატურის პირობებში ანგარიშობენ ფორმულით:

$$V = \frac{v_1 a_1 + v_2 a_2 + v_3 a_3 + \dots}{100}$$

სადაც V არის CO_2 -ის საერთო მოცულობა, ღმ³;
 V_1, V_2, V_3 და ა.შ. – შესაბამისად, პირველ, მეორე და ა. შ. აირსაზომში დაგროვილი აირის მოცულობა;
 a_1, a_2, a_3 და ა. შ. - CO_2 -ის პროცენტული შემცველობები პირველ, მეორე და ა. შ. აირმზომებიდან აღებულ აირში, შესაბამისად.
 აქედან კოქსის რაოდენობა იქნება:

$$G_{\text{კოქს}} = \frac{V \cdot 273 \cdot P \cdot 12}{(273 + t) \cdot 760 \cdot 22,4}$$

სადაც P არის ატმოსფერული წნევა, მმ ვერცხ.წყ.სვ.;
 t – აირის ტემპერატურა აირსაზომში.
 ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილში (II ცხრილი)
 ცდის დამთავრების შემდეგ ატარებენ მიღებული თხევადი და აირადი პროდუქტების ანალიზს მათი შედგენილობის დასადგენად. თხევადი პროდუქტები გადააქვთ გამოსახდელ კოლბაში, რომელიც აღჭურვილია ნაძვისებრი დეფლუგმატორით იწყებენ პროდუქტის ფრაქციულ გამოხდას. გამოხდის პროდუქტებს აგროვებენ წინასწარ აწონილ კოლბებში და გამოყოფენ ბენზინის ფრაქციას, რომელიც 170⁰C-მდე იხდება და ლიგროინის ფრაქციას, რომელიც გამოიხდება 170-230⁰C ტემპერატურულ შუალედში. კოლბაში დარჩენილი მასა არის კატალიზური კრეკინგის გაზოილი. ბენზინის ფრაქციას უმატებენ აბსორბერში შთანთქმული მსუბუქი ფრაქციების მასას.

ბენზინის, ლიგროინისა და გაზოილის გამოსავალს გამოსახვენ პროცენტებში გატარებული ნედლეულის საერთო რაოდენობიდან.

ნედლეული	ცდის პირობები				მიღებული პროდუქტი						დანაკარგები			
	ხანგრძლივობა, წთ	ტემპერატურა, 0C	მოცულობითი სიჩქარე, სთ ⁻¹	გატარებული ნედლეული, გ	თხევადი პროდუქტი		აბსორბენტის წონაში ნაძვტი		აირი		კოქსი		გ	%
					გ	%	გ	%	გ	%	გ	%		

V სამუშაო

აირის ანალიზი

აირის ანალიზს გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს როგორც მრავალი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოსათვის, ასევე წარმოების კონტროლისათვის, რადგან ხშირად ძირითადი საანგარიშო-ტექნიკური მახასიათებლები სწორედ ამ ანალიზის შედეგებით განისაზღვრება.

აირის ანალიზი, ჩვეულებრივ, ორი ძირითადი ოპერაციისაგან შედგება – სინჯის აღება და მისი გამოკვლევა. თუ სინჯი არასწორად არის აღებული შემდგომი ანალიზი არასწორ პასუხს მოგვცემს. აირის შედგენილობის განსაზღვრისას მიღებული არასწორი შედეგები კი იწვევს მნიშვნელოვან შეცდომებს, რაც არასწორ წარმოდგენას გვიქმნის პროცესის მსვლელობაზე, მუშაობის რეჟიმზე, რაც საბოლოოდ არსებითად აისახება ტექნოლოგიური პროცესის მართვასა და რეგულირებაზე.

აირის რაოდენობრივ შედგენილობას საზღვრავენ აირ-ანალიზატორების საშუალებით. მოქმედების პრინციპის მიხედვით არსებობს ქიმიური და ფიზიკური აირ-ანალიზატორები.

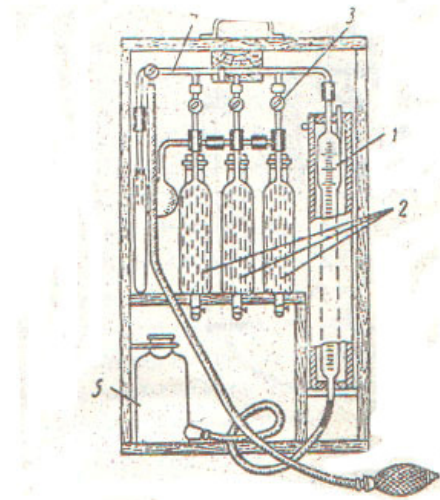
ქიმიურ აირ-ანალიზატორებში აირის შედგენილობა ისაზღვრება მასში შემავალი კომპონენტების ისეთი შთამნთქმელებით შთანთქმით, რომლებიც ამ შემადგენელ ნაწილებთან მდგრად ქიმიურ ნაერთებს წარმოქმნის.

ფიზიკური აირ-ანალიზატორების მოქმედება დამყარებულია იმ უმნიშვნელოვანესი მოვლენების გამოყენებაზე, რომლებიც თან ახლავს ანალიზს, ან აირნარევის შემადგენელი კომპონენტის რომელიმე ფიზიკური თვისების (მოცულობა, თბური ეფექტი, სიმკვრივე, სიბლანტე, სითბოტევადობა, ელექტრული, ოპტიკური, აკუსტიკური თვისებები და სხვ.)

განსაზღვრაზე, რომელიც საგრძნობლად განსხვავდება სხვა შემადგენლების ანალოგიური თვისებებისაგან.

წანამდებარე სამუშაოში აღწერილია აირის ანალიზის პროცესი ქიმიური აირ-ანალიზატორების გამოყენებით.

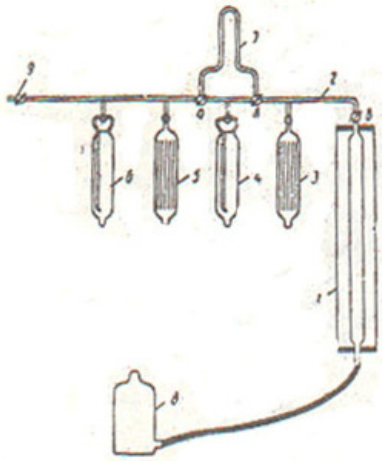
ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგიის ლაბორატორიაში აირის ანალიზს ატარებენ ნახევრადკოქსვის, კოქსვის, პიროლიზის, კრეკინგის, NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზის პროცესების საკონტროლოდ. ამისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა კონსტრუქციის აირ-ანალიზატორები.



ნახ. 1. აირ-ანალიზატორი GXП-3

აირ-ანალიზატორი GXП-3 (ნახ. 1) შედგება 100 სმ³ მოცულობის ბიურეტისაგან 1; ბიურეტს აქვს სკალა, რომლის დანაყოფის ფასია 0,2 სმ³; იგი მოთავსებულია წყლით სავსე მინის ცილინდრში. ხელსაწყოს აქვს შთანთქმელი ხსნარებით სავსე სამი ჭურჭელი 2, რომლებიც ავსებულია მინის მი-

ლებით შთამნთქმელი სითხეებისა და აირის შეხების ზედაპირის გასადიდებლად, ონკანებიანი 3 გამანაწილებელი სავარცხელი 4, აირანალიზატორის ცალკეულ ნაწილებს შორის აირის სინჯის გასანაწილებლად. ბიურეტის შიგნით წნევის გასათანაბრებლად და აირის შესაყვანად და გამოსაყვანად ხელსაწყო აღჭურვილია ჩამკეტსითხიანი გამაწონასწორებელი ჭურჭლით 5. გამაწონასწორებელ ჭურჭელს ავსებენ NaCl-ის ნაჯერი, ან H₂SO₄-ის 5%-იანი ხსნარით.



ნახ. 2. აირანალიზატორი ЛТИ

აირანალიზატორი ЛТИ (ნახ. 2) შედგება 100 სმ³ მოცულობის გრძელი მზომი ბიურეტისაგან 1, რომელიც დაგრადუირებულია 0,2 სმ³ დანაყოფის ფასით; იგი აღჭურვილია, აგრეთვე, გამანაწილებელი სავარცხლით 2, რომელსაც 5 ქვედა და 2 ზედა შვერილი და a, b და d ონკანები აქვს; ხელსაწყოს აქვს აგრეთვე ოთხი შთამნთქმელი ჭურჭელი 3-6, კვარცის ან ლითონის ყულფი 7, რომელიც შევსებულია სპილენძის ოქსიდით, გამაწონასწორებელი ჭურჭელი 8 და სამსვლიანი ონკანი 9, რომელიც აერთებს ხელსაწყოს ატმოს-

ფეროსა და აირსაზომთან. შთამნთქმელი ჭურჭლები 3-5 ავსებულია მინის მილაკებით. ჩამკეტ სითხედ, რომლითაც შევსებულია გამაწონასწორებელი ჭურჭელი, ჩვეულებრივ, გამოიყენება 10%-იანი გოგირდმჟავა, ან NaCl-ის ნაჯერი ხსნარი, რომლებშიც გამოსაკვლევი აირების ხსნადობა უმნიშვნელოა. შთამნთქმელებად გამოყენებულია: 3 ჭურჭელში – KOH-ის 33%-იანი ხსნარი H₂S-ისა და CO₂-ის შთასანთქმელად; 4 ჭურჭელში – ბრომით გაჯერებული KBr-ის 20%-იანი ხსნარი უჯერი ნახშირწყალბადების შთასანთქმელად; 5 ჭურჭელში – პიროგალოლის ტუტეხსნარი O₂-ის შთასანთქმელად; 6 ჭურჭელში – სპილენძის (I) ქლორიდის ამიაკიანი ხსნარი CO-ს შთასანთქმელად.

მუშაობის დაწყებამდე ამოწმებენ აირანალიზატორის ყველა ონკანისა და შეერთების ჰერმეტიულობას. როცა გამაწონასწორებელი ჭურჭელი ქვედა მდგომარეობაშია შთამნთქმელ ჭურჭლებში რეაქტივებისა და ბიურეტში ჩამკეტი სითხის დონეები არ უნდა იცვლებოდეს. ხელსაწყოს ყველა ნაწილის სისუფთავის შემოწმების შემდეგ, სითხეთა დონეები შთამნთქმელ ჭურჭლებსა და საზომ ბიურეტში აპყავთ კაპილარებზე ონკანების ქვემოთ აღნიშნულ ჭდეებამდე.

საზომ ბიურეტში იღებენ 100 სმ³ ჰაერს, რომლიდანაც ჟანგბადს (20,9%) შთანთქამენ პიროგალოლის ტუტეხსნარით (შთამნთქმელი ჭურჭელი 5). დარჩენილი აზოტით გალდასმით განბერავენ სავარცხელსა და ყულფს. ბიურეტში ჩამკეტი სითხე აპყავთ ჭდემდე.

ხელსაწყოს ამგავარად მომზადების შემდეგ იღებენ აირის სინჯს. საზომ ბიურეტს სამსვლიანი ონკანით 9 მიუერთებენ აირსაზომს (ამ დროს გამაწონასწორებელი ჭურჭელი აწეულია ბიურეტის ზედა ჭდემდე) და გამაწონასწორებელი ჭურჭლის ნელი დაწევით გადააპყავთ აირი აირსაზომიდან საზომ ბიურეტში (100 სმ³). ამის შემდეგ ბიურეტს გამორთავენ აირსაზომიდან. CO₂-ისა და H₂S-ის ჯამური განსაზ-

ღვრისათვის აირი გადაჰყავთ KOH-იან ჭურჭელში და გადმოჰყავთ უკან, ბიურეტში. აირის შთანთქმელ ჭურჭელში გადაყვან-გადმოყვანა ხორციელდება გამაწონასწორებელი ჭურჭლის ნელი აწვევ-დაწვევით. ამას იმეორებენ 6-8-ჯერ, რის შემდეგ შთანთქმელი სითხის დონე მიჰყავთ ჭდეშდე, ჭურჭლის ონკანს გადაკეტავენ (ბიურეტისას – არა) და გამაწონასწორებელ ჭურჭელსა და საზომ ბიურეტში სითხეების ერთნაირი დონის დროს ზომავენ დარჩენილი აირის მოცულობას. ამ ოპერაციას იმეორებენ მანამ, სანამ დარჩენილი აირის მოცულობა უცვლელი არ გახდება. CO₂-ისა და H₂S-ის მოცულობა გამოითვლება ფორმულით:

$$V_1 = V_0 - V_2,$$

სადაც V₀ არის საანალიზოთ აღებული აირის მოცულობა (ჩვეულებრივ 100 სმ³);

V₁ - CO₂-ისა და H₂S-ის შთანთქმის შემდეგ დარჩენილი აირის მოცულობა.

უჯერი ნახშირწყალბადების შთასანთქმელად აირი გადაჰყავთ ბრომიანი წყლით სავსე ჭურჭელში 4 (5-6-ჯერ), შემდეგ კი KOH-იან ჭურჭელში 3 გამოყოფილი ბრომის ორთქლის შთასანთქმელად, ბოლოს კი – ბიურეტში და ზომავენ დარჩენილი აირის მოცულობას.

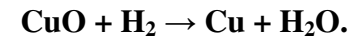
ჟანგბადის შთასანთქმელად აირი გადაჰყავთ პიროგალილის ტუტესნარიან ჭურჭელში 5. ჟანგბადი ნელა შთაინთქმება, ამიტომ საჭიროა გამაწონასწორებელი ჭურჭლის 15-17-ჯერ აწვევ-დაწვევა ჭურჭელში აირის გადასაყვან-გადმოსაყვანად. შთანთქმას დამთავრებულად თვლიან თუ ბოლო ორი შედეგი ერთმანეთს დაემთხვა.

CO-ს შთანთქმენ სპილენძის (I) ქლორიდის ამიაკიანი ხსნარით. ეს პროცესიც ნელა მიმდინარეობს, ამიტომ აირი ბიურეტიდან შთანთქმელ ჭურჭელში 6 და პირიქით 14-15-ჯერ გადაჰყავთ.

აირის ანალიზის დროს აუცილებლად უნდა დავიცვათ შთანთქმის აღწერილი თანამიმდევრობა, წინააღმდეგ შემთხვევაში ანალიზის შედეგები სწორი არ იქნება.

აირის შემადგენელი კომპონენტების შთანთქმის დამთავრების შემდეგ იწყებენ წყალბადისა და ნახშირწყალბადების ანალიზს. ამისათვის აღებენ a, b და d ონკანებს, აერთებენ სავარცხელს და საზომ ბიურეტს ყულფთან, რომელშიც მოთავსებულია სპილენძის ოქსიდი; აღებენ აგრეთვე შთანთქმელი ჭურჭლის 5 ონკანს. სპეციალურ სადგარზე დამაგრებული მილა ელექტროლუმის საშუალებით ყულფს აცხელებენ 270-300°C-მდე. საჭირო ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ აირი საზომი ბიურეტიდან ნელა გადაჰყავთ KOH-იან ჭურჭელში და უკან (6-10-ჯერ). ყოველი 3-4 გადაყვანის შემდეგ ამოწმებენ აირის მოცულობას.

ყულფში წყალბადი იწვის და გარდაიქმნება წყლად; ნაწილობრივ აღდგება CuO:



ყულფის სრული გაცივების შემდეგ ზომავენ დარჩენილი აირის მოცულობას. აირის მოცულობა მცირდება დამწვარი წყალბადის მოცულობის შესაბამისი სიდიდით. შემდეგ ყულფს აცხელებენ 850-900°C-მდე და დარჩენილ აირს გაატარებენ მასში 10-15 სმ³/წთ სიჩქარით მუდმივი მოცულობის მიღებამდე. აირი გადაჰყავთ KOH-იან ჭურჭელში ნაჯერი ნახშირწყალბადების წვის შედეგად წარმოქმნილი CO₂-ის შთასანთქმელად:



ამის შემდეგ ლუმელს მოხსნიან და ყულფს აცივებენ; მაგრამ ასეთ მაღალ ტემპერატურაზე შესაძლებელია CuO-ს

დისოციაცია ჟანგბადის გამოყოფით, ამიტომ ცდომილების თავიდან ასაცილებლად აირს ატარებენ პიროგალოლის ტუტე-ხსნარიან ჭურჭელში მოსალოდნელი გამოყოფილი ჟანგბადის შთასანთქმელად; მხოლოდ ამის შემდეგ გაზომავენ დარჩენილი აირის მოცულობას. მოცულობის შემცირება ტოლია შთანთქმული CO₂-ის რაოდენობისა, რაც შეესაბამება საანალიზო აირში შემავალი მეთანის ან სხვა ნაჯერი ნახშირწყალბადების რაოდენობას.

აირის სიმკვრივის განსაზღვრა

აირადი ნივთიერების სიმკვრივეს საზღვრავენ აირის პიკნომეტრით (ევაკუირებული კოლბა), ან გამოდევნის მეთოდით. პირველ შემთხვევაში წინასწარ წონიან პიკნომეტრს, ამისათვის მას ღია ონკანით შეაერთებენ ვაკუუმ-ტუმბოსთან; ჰაერის გამოტუმბვის შემდეგ გადაკეტავენ ვენტილს, პიკნომეტრს გამორთავენ ტუმბოსაგან. ევაკუირებულ პიკნომეტრს წონიან ანალიზურ სასწორზე. შემდეგ მას ავსებენ საკვლევი აირით. ამისათვის პიკნომეტრს აერთებენ ბიურეტთან და აირი გადაჰყავთ ბიურეტიდან პიკნომეტრში დამწნივი ჭურჭლის საშუალებით, მანამ სანამ წნევა ორივე ჭურჭელში არ გაუტოლდება ატმოსფერულს. ამის შემდეგ პიკნომეტრს გამორთავენ ბიურეტიდან და კვლავ აწონიან. აირის სიმკვრივეს ანგარიშობენ ფორმულით:

$$\rho = \frac{G_2 - G_1}{V_0} \cdot 1000, [\text{გ/ლ}]$$

- სადაც G_1 არის ევაკუირებული პიკნომეტრის მასა, გ;
- G_2 - აირით სავსე პიკნომეტრის მასა, გ;
- V_0 - აირის მოცულობა ნორმალურ პირობებში, სმ³.

$$V_0 = \frac{VP \cdot 273}{760(273+t)},$$

სადაც V არის ბიურეტიდან მიწოდებული აირის მოცულობა, სმ³;

t – ტემპერატურა °C;

P – ატმოსფერული წნევა, მმ. ვერცხწყ. სვ.

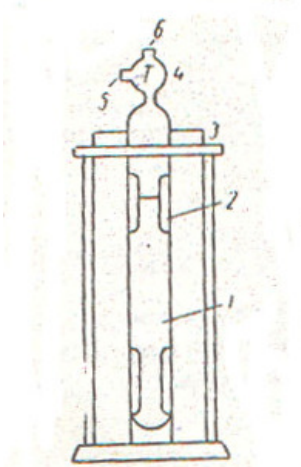
ხოლო აირის სიმკვრივე ჰაერის მიმართ იქნება

$$d = r/1, 293.$$

გამოდევნის მეთოდით აირის სიმკვრივეს საზღვრავენ ბილინგის ხელსაწყოს საშუალებით (ნახ.3). ხელსაწყოს ძირითადი ნაწილია მინის მილი L , რომელსაც ორი შევიწროებული ნაწილი აქვს. მილი მოთავსებულია ლითონის დამცავ გარსაცმში 2 ; ზედა ნაწილში მას აქვს სამსვლიანი ონკანი 4 . ონკანი მინის მილს აერთებს ატმოსფეროსთან გვრდითი გამყვანით 5 , ან ლითონის მილით 6 , რომელშიც მოავსებულია სვრელიანი პლატინის ფირფიტა. ცილინდრში ასხამენ წყალს და მინის მილს აერთებენ ატმოსფეროსთან (ამ დროს სახურავი მჭიდროდ არ არის დახურული). გვერდით გამყვანს 5 მიუერთებენ საკვლევ აირიან აირსაზომს. აირი ავსებს მილს და გამოდევნის წყალს. როცა აირი მივა ქვედა ჭდემდე მინის მილს სამსვლიანი ონკანით შეაერთებენ ატმოსფეროსთან ლითონის მილით 6 ; აირი გამოდევნება პლატინის ფირფიტის სვრელის გავლით. ასეთნაირად მილი რამდენჯერმე „ირეცხება“ აირით.

სიმკვრივის განსაზღვრავად მილს ერთხელ კიდევ შეავსებენ აირით ჭდებზე 2-3 სმ-ით ქვემოთ. სამსვლიანი ონკანის გადართვით აირს გაატარებენ პლატინის ფირფიტის სვრელში; როცა წყლის დონე მიაღწევს ქვედა ჭდეს ჩარ-

თავენ წამსაზომს და ჩაინიშნავენ დროს, რომლის გან-
მავლობაშიც წყალი მიაღწევს მინის მილის ზედა ჭლეს. ასევე
განსაზღვრავენ ჰაერის გამოდევნის დროს.



ნახ. 3. პოლინგის ხელსაწყო

აირის სიმკვრივეს ჰაერის მიმართ ანგარიშობენ ფორ-
მულით:

$$d = t_1/t_2$$

სადაც t_1 და t_2 არის აირისა და ჰაერის გამოდევნის დრო,
შესაბამისად.

VI სამუშაო

ნატრიუმის ქლორიდის წყალხსნარის ელექტროლიზი

წყალხსნარებში მიმდინარე ელექტროქიმიური პროცე-
სების ყველაზე ტიპური მაგალითია ნატრიუმის ქლორიდის
წყალხსნარის ელექტროლიზი.

ელექტროქიმიურს უწოდებენ პროცესებს, რომლებიც
მიმდინარეობს მუდმივი ელექტროდენის მოქმედებით და დაკა-
ვშირებულია ელექტროენერგიის ქიმიურ ენერგიად გარდაქმნას-
თან და პირიქით. ქიმიური ენერგია ელექტროენერგიად გარ-
დაიქმნება აკუმულატორების მუშაობის პროცესში, ხოლო
ელექტროენერგია ქიმიურად – ხსნარებისა და გამდნარი მა-
სების ელექტროლიზის დროს, რაც ფართოდ გამოიყენება ქი-
მიურ, მეტალურგიულ და მრეწველობის სხვა დარგებში.

სხვადასხვა ნივთიერებების წყალხსნარების ელექტრო-
ლიზის შედეგად ღებულობენ ჟანგბადს, წყალბადს, ქლორს,
ტუტეებს, ჰიპოქლორიდს, ქლორატებს, პერმანგანატს, წყალ-
ბადის ზეჟანგს, ლითონებსა და სხვა ნაერთებს.

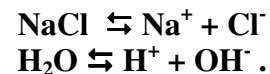
ფერადი ლითონების მეტალურგიაში წყალხსნარების
ელექტროლიზი უმნიშვნელოვანესი პროცესია სპილენძის, ნი-
კელის, თუთიისა და სხვა ლითონების წარმოებაში. გალვანუ-
რი წესით წყალხსნარებიდან ელექტროლიზით ფარავენ სხვა-
დასხვა ზედაპირს ნიკელით, ქრომით, სპილენძით, თუთიით,
ოქროთი და სხვა ლითონებით, რომლებიც იცავს ნაკეთობებს
კოროზიისაგან და აძლევს მათ კარგ იერს. გამდნარი მასების
ელექტროლიზი ერთ-ერთი ძირითადი პროცესია ალუმინის,
მაგნიუმის, კალციუმის, ნატრიუმისა და ზოგიერთი სხვა ლი-
თონის მისაღებად, რომელთა დალექვა კათოდზე წყალხსნა-
რებში არ არის შესაძლებელი მათი მაღალი ელექტროუარ-
ყოფითი პოტენციალის გამო.

ელექტროლიზს უწოდებენ ელექტროლიტების დაშლას მუდმივი ელექტროდენის საშუალებით, რასაც თან ახლავს ახალი ნივთიერებების წარმოქმნა. თუ ელექტროდებზე მოდებულია ძაბვა ელექტროლიტის ანიონები მოძრაობენ ანოდისაკენ, ხოლო კატიონები კათოდისაკენ. ანოდზე ანიონები გაცემს ელექტრონებს, ე. ი. იჟანგება; კათოდზე კი კატიონები იერთებს ელექტრონებს, ე. ი. აღსდგება. ამ დროს იონები შეიძლება განიმუხტონ და ელექტროდებზე წარმოქმნან ნეიტრალური ნივთიერებები მყარ, თხევად და აირად მდგომარეობაში.

თეორიულად ელექტროლიტის ხსნარში არსებული რამდენიმე იონიდან ელექტროდზე გამოიყოფა ის, რომელსაც აქვს ყველაზე დაბალი წონასწორული პოტენციალი. ეს იძლევა საშუალებას წყალხსნარებში ერთდროულად რამდენიმე ლითონის იონის არსებობისას გამოვყოთ ჩვენთვის სასურველი.

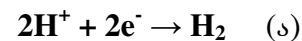
NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზი ყველაზე მარტივი და ეკონომიური მეთოდია ერთდროულად სამი ძვირფასი პროდუქტის – ქლორის, წყალბადისა და ნატრიუმის ტუტის მისაღებად იაფი და ფართოდ გავრცელებული ნედლეულიდან – სუფრის მარილიდან. NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზს ატარებენ ორი ხერხით: დიაფრაგმიან აბაზანებში ფოლადის კათოდებით და უდიაფრაგმო აბაზანებში ვერცხლისწყლის კათოდის გამოყენებით. ელექტროლიზის აირადი პროდუქტები - ქლორი და წყალბადი – ორივე შემთხვევაში გამოირჩევა მაღალი კონცენტრაციითა და სისუფთავით. ვერცხლისწყლის კათოდით ელექტროლიზის ჩატარებისას მესამე პროდუქტი – ნატრიუმის ტუტე – ასევე მაღალი კონცენტრაციისა და ქიმიურად სუფთა მიიღება. ამ უპირატესობათა გამო ქლორის წარმოების ელექტროქიმიურმა მეთოდმა მთლიანად გამოდევნა მისი მიღების ქიმიური მეთოდები.

ელექტროდებზე მიმდინარე ძირითადი პროცესები.
NaCl წყალში გახსნისას დისოცირდება:



წყალხსნარი შეიცავს Na^+ -ის, Cl^- -ის, H^+ -ისა და OH^- -ის იონებს.

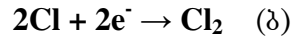
ასეთი ხსნარის ელექტროლიზის დროს თეორიულად შესაძლებელია Na^+ -სა და H^+ -ის კატიონების განმუხტვა კათოდზე და OH^- -ისა და Cl^- -ის ანიონებისა – ანოდზე. მაგრამ ამ იონებიდან სინამდვილეში რომელი განიმუხტება ელექტროდებზე და რა თანამიმდევრობით ეს დამოკიდებულია, უწინარეს ყოვლისა, იონების განმუხტვის პოტენციალზე და მათ თანაფარდობაზე NaCl-ის ნაჯერ ნეიტრალურ წყალხსნარში. $\varphi_{\text{H}^+} = -0,415\text{ვ}$ -ს და $\varphi_{\text{Na}^+} = -2,71\text{ვ}$ -ს. რადგან წყალბადის იონს უფრო დადებითი განმუხტვის პოტენციალი აქვს, ასეთი ხსნარის ელექტროლიზის დროს, მიუხედავად წყალბადიონების დაბალი კონცენტრაციისა, ფოლადის კათოდზე გამოიყოფა მხოლოდ წყალბადი, შემდეგი რეაქციით:



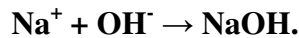
ჟანგბადის განმუხტვის წონასწორული პოტენციალი $\varphi_{\text{O}_2(\text{OH})^-} = +0,82\text{ ვ}$ -ს, ქლორისა - $\varphi_{\text{Cl}_2} = +1,33\text{ ვ}$ -ს.

ანოდზე პირველად განიმუხტება ნაკლებად დადებითი ანიონი; მაშასადამე უნდა ვიფიქროთ, რომ ამ შემთხვევაში მასზე განიმუხტება ჰიდროქსიდის იონები ჟანგბადის გამოყოფით. მაგრამ ისეთ ანოდებზე, როგორცაა ნახშირი, გრაფიტი, პლატინა ჟანგბადი გამოიყოფა მხოლოდ დიდი გადაძაბვით (ძაბვა აღემატება 1,36 ვ-ს), რაც განაპირობებს ჟანგბადის

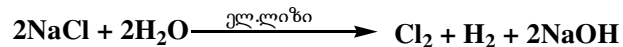
განმუხტვის პოტენციალის ძლიერ გადიდებას და ამიტომ ანოდზე უპირატესად Cl^- -ის იონები განიმუხტება:



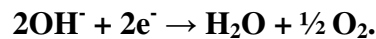
პირველადი პროცესის (ა) შედეგად კათოდთან რჩება OH^- -იონები, რომლებიც Na^+ -ის იონებთან წონასწორობაში წარმოქმნიან ნატრიუმის ტუტეს:



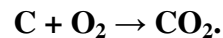
ამრიგად, NaCl -ის წყალხსნარის ელექტროლიზის პროდუქტებია ქლორი, წყალბადი და ნატრიუმის ტუტე. ელექტროლიზის ჯამური რეაქცია შეძლება ასე დავწეროთ:



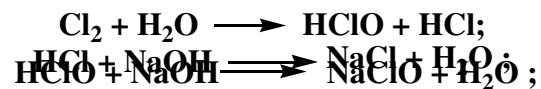
იონების განმუხტვის შედეგად ანოდზე უმნიშვნელო რაოდენობით ჟანგბადიც გამოიყოფა:



გამოყოფილი ჟანგბადის ურთიერთქმედებით ანოდის ნახშირბადთან მიდის მეორეული პროცესი:



აირადი ქლორი, იხსნება რა ანოლიტში, ურთიერთქმედებს წყალსა და ტუტესთან და წარმოქმნის ნატრიუმის ჰიპოქლორიტს, ქლორატსა და ქლორიდს:



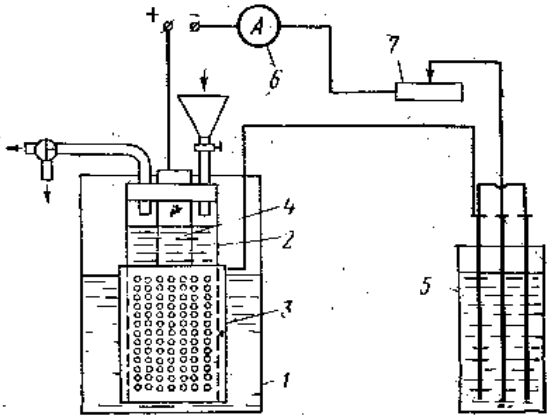
ყველა ეს მეორეული პროცესი ამცირებს ძირითადი პროდუქტების გამოსავალს დენის მიხედვით. ელექტროენერგიის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ნაწილი იხარჯება NaClO -ს NaClO_3 -მდე დაჟანგვისას. მეორეული პროცესების თავიდან ასაცილებლად, ან მათ შესამცირებლად, აუცილებელია, რომ ელექტროლიზის პროდუქტები ერთმანეთს არ ერეოდნენ. ამისათვის იყენებენ ფოროვან დიაფრაგმას, რომელიც ერთმანეთისაგან ჰყოფს ანოდურ და კათოდურ სივრცეებს.

*დანადგარის აღწერა და საბუშოს
ჩატარების მეთოდიკა*

ნახაზზე მოცემულია NaCl -ის წყალხსნარის ელექტროლიზის ლაბორატორიული დანადგარის სქემა. იგი მოიცავს მუდმივი დენის წყაროს (იგი ნახაზზე ნაჩვენებია არ არის; აღნიშნულია მხოლოდ კლემები „+“ და „-“, რომლებშიც დენი შემოდის ცვლადი დენის გამმართველიდან), რეოსტატს 7, რომელიც არეგულირებს მუდმივი დენის ძალას, ამპერმეტრს 6, კულონომეტრს 5, ელექტროლიტურ აბაზანას 1, აირსაზომს, რომელიც აბაზანასთან შეერთებულია სამსვლიანი ონკანით ანოდური აირის სინჯის ასაღებად და $\Gamma\text{XII-3}$ ტიპის აირანალიზატორს აირის სინჯის გამოსაკვლევად.

ელექტროლიტური აბაზანა დანადგარის ძირითადი აპარატია. იგი არის მინის ჭიქა 1, რომელშიც ჩადგმულია კერამიკული დიაფრაგმა 2. დიაფრაგმის საშუალებით შეგვიძლია ერთმანეთისაგან გავაცალკეოთ ელექტროლიზის ანოდური და კათოდური პროდუქტები და თავიდან ავიცილოთ მეორეული რეაქციები, რომლებიც გაპირობებულია ნატრიუმის ტუტის ურთიერთქმედებით ანოდზე გამოყოფილ აირად ქლორთან.

დიაფრაგმას გარს არტყია პერფორირებული ფოლადის კათო-
 დი 3. ანოდურ და კათოდურ სივრცეს ავსებენ ელექტროლი-
 ტის - NaCl-ის ნაჯერი ხსნარის - განსაზღვრული რაოდენ-
 ნობით (300-310 გ/დმ³). ანოდურ არეს მჭიდროდ ხურავენ
 რეზინის საცობით, რომელშიც დატანებულია ნახშირის ანო-
 დი 4, ონკანიანი მინის მილი ანოდური არედან ქლორის გა-
 საყვანად და ონკანიანი ძაბრი ელექტროლიტის ჩასასხმელად.



ქლორის გამყვანი მილი სამსვლიანი ონკანით შეერთე-
 ბულია შთამნთქმელ ჭურჭლებთან, როლებშიც მოთავსებულია
 ჩამქრალი კირი ქლორის შთასანთქმელად. შთამნთქმელი ჭუ-
 რჭლები დაკავშირებულია წყალჭავლურ ტუმბოსთან ან ას-
 პირატორთან სისტემიდან ქლორის გასაწოვად.

კულონომეტრის დანიშნულებაა ელექტროლიტურ აბა-
 ზანაში გატარებული ელექტრობის რაოდენობის განსაზღვრა.
 იგი მინის ჭურჭელია, რომელშიც ჩაკიდებულია სპილენძის
 თხელი ფირფიტა - კათოდი. ის მოთავსებულია სპილენძი-
 სავე ორ სქელ ფირფიტას - ანოდებს - შორის. კულონო-
 მეტრი მთლიანად ივსება ელექტროლიტით, რომელიც გო-
 გირდმჟავასპილენძის წყალხსნარია. მას უმატებენ გოგირდ-
 მჟავას (ელგამტარობის გასადიდებლად) და ეთილის სპირტს

(სპილენძის დაჟანგვის თავიდან ასაციებლად). ხსნარის შედ-
 გენილობა ასეთია (გ/დმ³): CuSO₄·5H₂O - 125; ეთილის
 სპირტი - 50; H₂SO₄ - 50.

კულონომეტრში დენის გავლისას ანოდისა და ხსნარში
 გადადის სპილენძის იონები, ხოლო კათოდზე აღდგება სპი-
 ლენძის ეკვივალენტური რაოდენობა:



კულონომეტრში გავლილი მთელი დენი მხოლოდ ამ
 რეაქციაზე იხარჯება, ამიტომ გამოყოფილი სპილენძის რაო-
 დენობის მიხედვით ზუსტად შეგვიძლია განვსაზღვროთ გატა-
 რებული ელექტრობის რაოდენობა. 96500 კულონი ანუ 1F
 ელექტრობა, რაც ამპერ/საათებში შეადგენს 26,8 ამპ/სთ-ს,
 ფარადის კანონის საფუძველზე გამოყოფს ერთ გრამ-ეკვი-
 ვალენტ სპილენძს, ანუ 31,785 გ-ს.

ცდის დაწყებამდე საჭიროა შესრულდეს მოასამზადე-
 ბელი სამუშაოები:

ა) უნდა განისაზღვროს ნახშირის ანოდის იმ ნაწი-
 ლის ფართობი, რომელიც ჩაშვებულია NaCl-ის ხსნარში;

ბ) უნდა გამოვითვალოთ დენის ძალა, რომელიც აუ-
 ცილებელია დენის ანოდური სიმკვრივის - D_a-ს - უზრუნ-
 ველსაყოფად. I = D_a · S,

სადაც I არის დენის ძალა, ამპ;

D_a - დენის ანოდური სიმკვრივე, ამპ/დმ²;

S - ანოდის სამუშაო ფართობი, დმ².

ლაბორატორიულ პირობებში დენის ანოდურ სიმკვრი-
 ვეს იღებენ 3-3,5 ამპ/დმ²-ს (წარმოებაში - 5-15 ამპ/დმ²);

გ) კულონომეტრის კათოდი უნდა გაიხეხოს ზუმფარის
 ქალაღდით, გაირეცხოს, გაშრეს და აიწონოს 0,01 გ-ის სი-
 ზუსტით;

დ) ანოდურ და კათოდურ სივრცეებში უნდა ჩაისხას
 NaCl-ის ნაჯერი ხსნარის განსაზღვრული რაოდენობა;

ე) უნდა აიწყოს დანადგარი, ელექტროქსელი და შე-
მოწმდეს ლაბორანტთან ერთად;

ვ) ჩაირთოს მუდმივი დენი ბოლომდე აწეული რეოს-
ტატით და მისი საშუალებით დაყენდეს ამპერმეტრზე გამო-
ანგარიშებული დენის ძალა;

ზ) ელექტროლიზის პროცესი ჩატარდეს მოცემული
დროის განმავლობაში.

ელექტროლიზის პროცესში იღებენ აირის სინჯებს
აირსაზომში ან უშუალოდ GXII-3 აირანალიზატორში და
საზღვრავენ მასში ქლორის, ნახშირორჟანგისა და ჟანგბადის
შემცველობას. ცდის დამთავრების შემდეგ იღებენ სინჯს
კათოდური სივრციდან (6-10 სმ³ ხსნარი) წარმოქმნილი ნატ-
რიუმის ტუტის ფაქტობრივი რაოდენობის განსასაზღვრავად.
საკვლევე ხსნარს ტიტრავენ 0,1 ნ მარილმჟავას ხსნარით;
ინდიკატორად იყენებენ ფენოლფტალეინს.

წარმოქმნილი ნატრიუმის ტუტის რაოდენობის მიხე-
დვით გაიანგარიშება NaOH-ის %-ული გამოსავალი დენის
მიმართ:

$$\eta = \frac{G_{პრ}}{G_{თ}}$$

სადაც $G_{პრ}$ არის ელექტროლიზის დროს ფაქტობრივად გა-
მოყოფილი NaOH-ის რაოდენობა, გ;

$G_{თ}$ - NaOH-ის რაოდენობა, რომელიც უნდა წარ-
მოქმნილიყო თეორიულად ფარადეის კანონის მიხედ-
ვით ელექტრობის იგივე ხარჯის შემთხვევაში.

$$G_{თ} = \frac{I\tau A}{nF}, \quad \text{ან} \quad G_{თ} = I\tau E,$$

სადაც I არის დენის ძალა, ამპ;

A - ატომური წონა. ან იონის მასა, გ.

n - იონის ვალენტობა;

F - ფარადეის რიცხვი, რომელიც შეესაბამება ელექ-
ტრობის იმ რაოდენობას, რომელიც უნდა გატარდეს
ელექტროლიტში ერთი გრამ-ეკვივალენტი ნივთიერე-
ბის (A/n) გამოსაყოფად; $F = 96500$ კულონი/გ-ეკვ,
ან 26,8 ამპ-სთ/გ-ეკვ;

E - ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, ანუ ნივთიერების
გრამების რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა ელექ-
ტროლიტში ერთი ამპერ-საათი ელექტრობის გავლის
დროს : $E = \frac{A}{nF}$;

NaOH-ისათვის $E = 1,492$ გ/ამპ-სთ.

პროდუქტის ფაქტობრივად მიღებული რაოდენობა $G_{პრ}$
განისაზღვრება კათოდური ხსნარის კონცენტრაციისა და
რაოდენობის მიხედვით:

$$G_{პრ} = C_{NaOH} \cdot V_{k},$$

სადაც C_{NaOH} არის NaOH-ის კონცენტრაციის კათოლიტში,
გ/დმ³;
 V_{k} , - ხსნარის მოცულობა კათოდურ სივრცეში.

$$C_{NaOH} = \frac{a \cdot k \cdot 0,004 \cdot 1000}{b},$$

სადაც a არის კათოლიტის აღებული რაოდენობის გატიტრე-
ზე დახარჯული 0,1 ნ HCl-ის რაოდენობა, სმ³;
 k - ხსნარის ნორმალობის შემასწორებელი კოეფიცი-
ენტი;

b - გასატიტრად აღებული კათოლიტის რაოდენობა,
სმ³;

0,004 - NaOH-ის გ-ების რაოდენობა, რომელიც
შეესაბამება 1 სმ³ 0,1 ნ HCl-ს.

ანოდურ არეში OH^- -იონების მნიშვნელოვანი დიფუზიონისა და მეორეული პროცესების მიმდინარეობის გამო ლაბორატორიული ტიპის პერიოდული მოქმედების აბაზანებისათვის დენის მიხედვით გამოსავალი ნაკლებია, ვიდრე განუწყვეტელი მოქმედების აპარატებში და მხოლოდ 75-80%-ს აღწევს.

დენის მიხედვით ქლორის გამოსავალს ანოდური სივრცის აირის ანალიზის შედეგების მიხედვით საზღვრავენ. ეს აირი შემდეგი კომპონენტებისაგან შედგება:

1. ქლორი, რომელიც წარმოიქმნება ძირითადი ანოდური პროცესის – იონების განმუხტვის – შედეგად;
2. ჟანგბადი, რომელიც გამოიყოფა ანოდზე OH^- -ის იონების განმუხტვის შედეგად;
3. ნახშირის ანოდების ჟანგბადთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნილი ნახშირორჟანგი.

აირის ანალიზს ატარებენ GXII-3 ტიპის აირანალიზატორით, რომელსაც აქვს სამი შთამთქმელი ჭურჭელი: *I* ჭურჭელი შევსებულია ნატრიუმის ჰიპოსულფიტის 10%-იანი ხსნარით ქლორის შთანთქმისათვის; *II* ჭურჭელი, რომლის დანიშნულებაა ნახშირორჟანგის შთანთქმა, შევსებულია კალიუმის ტუტის 33%-იანი ხსნარით; *III* ჭურჭელი შევსებულია პიროგალოლის ტუტეხსნარით და განკუთვნილია ჟანგბადის შთასანთქმელად. აირის ანალიზის დროს აუცილებელია შთანთქმის თანამიმდევრობის დაცვა: აირი საზომი ბიურეტიდან გადაჰყავთ ჯერ *I* ჭურჭელში (6-8-ჯერ) ქლორის შთასანთქმელად, შემდეგ *II*-ში – ნახშირორჟანგის შთანთქმისათვის (6-8-ჯერ) და, ბოლოს, *III*-ში – ჟანგბადის შთასანთქმელად (15-18-ჯერ). ამ თანამიმდევრობის დარღვევა არასწორ შედეგს იძლევა, რადგან პიროგალოლის ტუტეხსნარი ნახშირორჟანგსაც შთანთქავს.

აირის სინჯის ასაღებად NaCl -ის ნაჯერი ხსნარით სავსე აირსაზომს სამსვლიანი ონკანით მიუერთებენ ანოდურ სივრცეს. აღებენ აირსაზომის ონკანს და წვეთ-წვეთად უშვებენ

სითხეს. იღებენ არა ნაკლებ 250 cm^3 აირს. თუ სინჯი უშუალოდ აირანალიზატორში აიღება პირველ 100 cm^3 -ს იყენებენ აირანალიზატორის, მისი სავარცხლისა და მილების განსაბერად, წინა სინჯის ნარჩენებისაგან გასათავისუფლებლად.

ხელსაწყოს ამზადებენ ანალიზისათვის. გამაწონასწორებელი ჭურჭლის საშუალებით სითხეები შთამთქმელ ჭურჭლებში აჰყავთ კაპილარებზე აღნიშნულ ჭდეებამდე. შემდეგ საზომ ბიურეტს ავსებენ სითხით ზედა ჭდემდე. ამოწმებენ ხელსაწყოს ჰერმეტიულობას. სინჯის აღების წინ აუცილებელია გამანაწილებელი სავარცხლის „გარეცხვა“ საანალიზო აირით მასში არსებული ჰაერის გასადევნად. ამისათვის საზომ ბიურეტში იღებენ 15-20 cm^3 აირს აირსაზომოდან და უშვებენ ჰაერში სამსვლიანი ონკანის საშუალებით. გამაწონასწორებელი სითხე კვლავ აჰყავთ საზომ ბიურეტში ზედა ჭდემდე (ნულოვან დანაყოფამდე).

შემდეგ საზომ ბიურეტს სამსვლიანი ონკანით მიუერთებენ აირსაზომს (ამ დროს გამაწონასწორებელი ჭურჭელი აწეულია ზევით საზომი ბიურეტის ზედა ჭდის დონემდე) და გამაწონასწორებელი ჭურჭლის ქვემოთ ნელი დაშვებით გადაჰყავთ აირი აირსაზომიდან ბიურეტში (100 cm^3); ბიურეტს გამორთავენ აირსაზომოდან.

ქლორის შემცველობის დასადგენად აირი გადაჰყავთ ნატრიუმის ჰიპოსულფიტთან ჭურჭელში და შემდეგ უკან – ბიურეტში. ეს ხდება გამაწონასწორებელი ჭურჭლის ნელი აწევითა და დაწევით. ასე აკეთებენ 6-8-ჯერ, რის შემდეგ შთამთქმელი სითხის დონე მიჰყავთ ჭდემდე. ონკანს დაკეტავენ და საზომ ბიურეტსა და გამაწონასწორებელ ჭურჭელში სითხეების ერთნაირი დონის პირობებში გაზომავენ დარჩენილი აირის მოცულობას. ამ ოპერაციას იმეორებენ მანამ, სანამ დარჩენილი აირის მოცულობა უცვლელი არ იქნება. ქლორის მოცულობა იქნება:

$$V = V_0 - V_1,$$

სადაც V არის ქლორის მოცულობა;

V_0 - საანალიზოდ აღებული აირის მოცულობა (100 სმ³);

V_1 - ქლორის შთანთქმის შემდეგ დარჩენილი აირის მოცულობა.

ამის შემდეგ ანალოგიურად განსაზღვრავენ ნახშირორ-ჟანგისა და ჟანგბადის შემცველობას. პროცესის დამთავრების შემდეგ კულონომეტრის კათოდი უნდა გაირეცხოს წყლის ჭავლით, გაშრეს საშრობ კარადაში და აიწონოს.

ცდის მონაცემები შეაქვთ ცხრილებში.

I ცხრილი

ელექტროლიზის რაოდენობა		ანოდის სამუშაო ზედაპირი, სმ ²	ანოდის ანოდიური სიმკვრივე, D _a , ამპ/დმ ²	დენის ძალა I, ამპ.	ელექტროლიზის ხანგრძლივობა, სთ, წთ.	კულონომეტრის სპილენძის კათოდის მასა, გ		გამოყოფილი სპილენძის რაოდენობა, G, გ	ნატრიუმის ტუტის რაოდენობა, გ		NaOH-ის გამოსავალი, %
ანოდურ არეში	კათოდურ არეში					ცდამდე	ცდის შემდეგ		თეორიული, G _თ	პრაქტიკული, G _პ	

II ცხრილი

აირის სინჯის ნიმუში	სინჯის აღების დრო	ანოდური აირის შედგენილობა, %		
		ქლორი	ნახშირორჟანგი	ჟანგბადი

ჩატარებული სამუშაოს გასაფორმებლად საჭიროა:

1. დაიხაზოს დანადგარის სქემა;
2. აიწეროს ელექტროლიზის დროს მიმდინარე პროცესი;
3. ჩამოიწეროს მოცემულობა;
4. გავიანგარიშოთ NaOH-ის გამოსავალი დენის მიხედვით;
5. ექსპერიმენტისა და გამოთვლების შედეგები შევითანოთ ცხრილში.

VII სამუშაო

იდეალური შერევის პერიოდული

მოქმედების რეაქტორის გამოკვლევა

ქიმიურ-ტექნოლოგიური პროცესის ძირითადი ელემენტია ქიმიური რეაქტორი – აპარატი, რომელშიც ქიმიური პროცესის მიმდინარეობის შედეგად ამოსავალი რეაგენტები წარმოების პროდუქტებად გარდაქმნება. ქიმიურ-ტექნოლოგიური პროცესი არის რეაქტორში გარკვეული თანამიმდევრობით მიმდინარე ქიმიური რეაქციებისა და ნივთიერების, სითბოსა და იმპულსის გადატანის ფიზიკური მოვლენების ერთობლიობა.

არსებობს ქიმიური რეაქტორებისა და მათი მუშაობის რეჟიმების კლასიფიკაციის რამდენიმე ხერხი. ყველაზე მეტად გავრცელებულია კლასიფიკაცია რეაქტორში არსებული ჰიდროდინამიკური რეჟიმის (შერევისა და გამოდევნის), პროცესის ორგანიზაციის (პერიოდული, უწყვეტი, ნახევრადუწყვეტი), სარეაქციო ნარევის ფაზური შედგენილობისა (რეაქტორები ჰომოგენური და ჰეტეროგენული პროცესებისათვის) და თბური რეჟიმის (ადიაბატური, იზოთერმული, პოლიტროპული რეჟიმით მომუშავე რეაქტორები) მიხედვით.

მოცემული ამოცანა ითვალისწინებს იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორის შესწავლას.

ლაბორატორიული საშუალო: იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორი.

საშუალოს მიზანი: ქიმიური რეაქციის კინეტიკის გამოკვლევა იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორში; ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მუდმივას, აქტივაციის ენერგიისა და სხვა პარამეტრების განსაზღვრა.

თეორიული საფუძვლები

ქიმიურ გარდაქმნათა კინეტიკის თავისებურებების შესასწავლად მოსახერხებელი ობიექტია იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორი.

იდეალური შერევის რეჟიმისათვის დამახასიათებელია შემდეგი დაშვებები:

- ტექნოლოგიური პარამეტრების მყისიერი შეცვლა და გათანაბრება რეაქტორის მთელ მოცულობაში;
- ტექნოლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობათა ტოლობა რეაქტორის მოცულობასა და მის გამოსასვლელში.

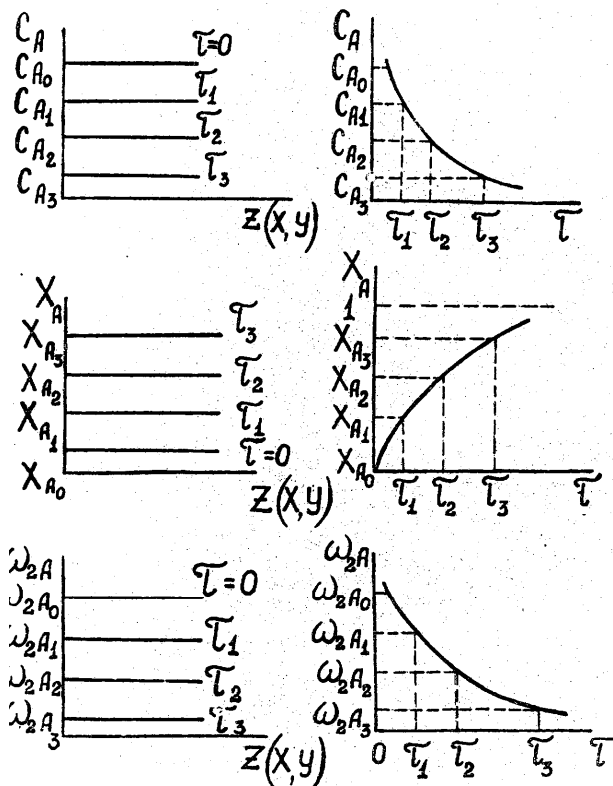
იდეალური შერევის პერიოდულ რეაქტორში იდეალურობის დაშვების შესაბამისად რეაგენტების კონცენტრაციების, გარდაქმნის ხარისხის, ტემპერატურის, რეაქციის სიჩქარისა და სხვა პარამეტრების მნიშვნელობები ერთნაირი იქნება რეაქტორის მოცულობის ნებისმიერ წერტილში დროის ნებისმიერ მომენტში, მაგრამ განსხვავებული დროის სხვა მომენტისათვის (ნახ 1.). ამრიგად, პერიოდულ რეაქტორში მიმდინარე პროცესი არასტაციონარულია (დაუმყარებელია).

ქიმიური რეაქციის კინეტიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორის მატერიალური ბალანსის განტოლება:

$$\tau = - \int_{C_{A,0}}^{C_A} \frac{dC_A}{u_A(C_A)} = C_{A,0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{u_A(X_A)}, \quad (1)$$

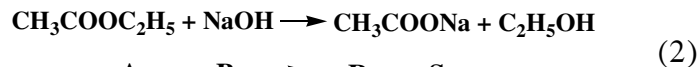
სადაც τ არის სარეაქციო ნარევის რეაქტორში დაყოვნების დრო, რომელიც აუცილებელია X_A გარდაქმნის ხარისხის მისაღწევად;

$u_A(C_A)$, ან $u_A(X_A)$ - რეაქციის კინეტიკური განტოლებებია.



ნახ. 1. იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორის მახასიათებლები

მოცემულ საბუშარში შეისწავლება მმარმჟავას ეთილის ეთერის (ეთილაცეტატის) ტუტით გასაგანის მორე რიგის რეაქციის კინეტიკა.



კინეტიკური განტოლება ასეთია:

$$u_A = kC_A C_B = kC_A (C_{B,0} - C_{A,0} + C_A) \quad 71$$

(3)

სადაც k არის ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მუდმივა. განტოლება (3) შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

$$u_A = kf(C_A),$$

მაშინ (1) განტოლება შეიძლება ასე ჩავწეროთ:

$$k\tau = - \int_{C_{A,0}}^{C_A} \frac{dC_A}{f(C_A)} = F(C_A) \quad (4)$$

(4) განტოლების შესაბამისად დამოკიდებულება τ -სა და $F(C_A)$ -ს შორის წრფივია; წრფის დახრის კუთხის ტანგენსის სიდიდის მიხედვით შეიძლება რეაქციის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრა. ამისათვის დროის სხვადასხვა მომენტში ექსპერიმენტით მიღებული რეაგენტების კონცენტრაციების მნიშვნელობათა მიხედვით აგებენ $F(C) = \phi(\tau)$ დამოკიდებულების გრაფიკს.

რადგანაც ექსპერიმენტით მიღებული წერტილები-სათვის, ჩვეულებრივ, დამახასიათებელია გარკვეული გაბნევა, წრფივი დამოკიდებულების ასაგებად მიზანშეწონილია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენება. ფუნქციის კონკრეტული სახე მორე რიგის შეუქცევადი რეაქციისათვის დამოკიდებულია რეაგენტების თანაფარდობაზე.

თუ ტუტე ეთილაცეტატზე M -ჯერ მეტი რაოდენობით არის აღებული, ე. ი. $C_{B,0}/C_{A,0} = M$, სტექიომეტრიული თანაფარდობების გათვალისწინებით, შეიძლება დაიწეროს:

$$C_B = C_{b,0} - C_{A,0} + C_A = C_{A,0}(M - X_A), \quad (5)$$

მაშინ

$$U_A = kC_{A,0}^2 (1 - X_A)(M - X_A). \quad 72$$

(6)

და მატერიალური ბალანსის განტოლება (1) ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\tau = C_{A,0} \int_0^{x_A} \frac{dX_A}{kC_{A,0}^2 (1-X_A)(M-X_A)} \quad (7)$$

რომლის ინტეგრირების შედეგადაც:

$$k\tau = F_1(C_B) \quad (8)$$

სადაც

$$F_1(C_B) = \frac{1}{C_{A,0}(M-1)} \ln \frac{C_B}{M(C_{A,0} - C_{B,0} + C_B)}$$

მეორე რიგის რეაქციისათვის, როცა $M \neq 1$, ექსპერიმენტული წერტილები $F_1(C_B) - \tau$ კოორდინატებში უნდა განლაგდნენ წრფეზე, რომლის კუთხის ტანგენსი განსაზღვრავს k -ს (ნახ. 2).

როცა $C_{A,0} = C_{B,0}$ კინეტიკური განტოლება ასე ჩაიწერება:

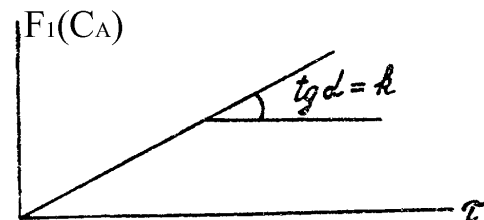
$$u_A = kC_A^2 \quad (9)$$

მისი ჩასმით მატერიალური ბალანსის განტოლებაში (1), მივიღებთ:

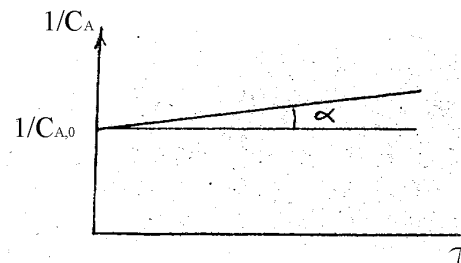
$$\tau = - \int_{C_{A,0}}^{C_A} \frac{dC_A}{kC_A^2} = \frac{1}{k} \left(\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A,0}} \right) \quad (10)$$

$$\text{ან} \quad \frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A,0}} + k\tau \quad (11)$$

განტოლება (11) არის $1/C_{A,0} - \tau$ კოორდინატებში აგებული წრფე, რომელიც ორდინატთა ღერძზე მოკვეთს $1/C_{A,0}$ მონაკვეთს (ნახ.3).



ნახ. 2. $F_1(C_A)$ -ს დამოკიდებულება რეაგენტების პერიოდულ რეაქტორში დაყოვნების დროისაგან



ნახ. 3. გრაფიკი რეაქციის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრისათვის რეაგენტების სტექიომეტრიული ნარევიტ ჩატარებული ცდებისათვის

ავაგებთ რა ექსპერიმენტული წერტილებით წრფეს ამ კოორდინატებში, კუთხის ტანგენსის მიხედვით განვსაზღვრავთ k -ს.

აქტივაციის E ენერჯის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ არენიუსის განტოლებას:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT} \quad (12)$$

თუ ავაგებთ მიღებულ წრფივ დამოკიდებულებას

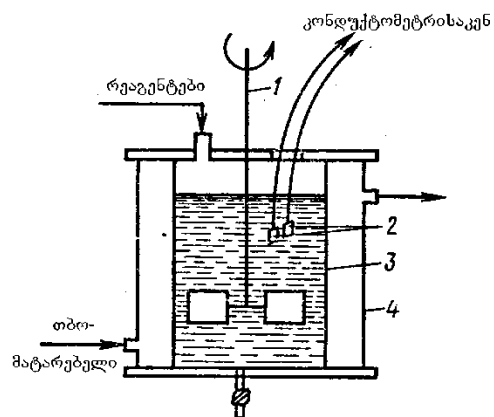
$$\ln k = f(1/T),$$

შეიძლება განვსაზღვროთ აქტივაციის ენერგია ამ წრფის დახრის კუთხის ტანგენსის მიხედვით

$$\operatorname{tg} \alpha = -E/RT, \text{ სადაც } R = 8,314 \text{ ჯოული} \cdot \text{მოლი}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

ლაბორატორიული დანადგარის აღწერა

ექსპერიმენტი ტარდება დანადგარზე, რომელიც გამოსახულია ნახ. 4-ზე.



ნახ. 4. იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორის სქემა

რეაქტორი არის სპილენძის ცილინდრული ჭურჭელი 3, რომელიც აღჭურვილია მექანიკური სარევით 1; იგი ჩად-

გებულია მეორე ჭურჭელში 4, რომელიც თერმოსტატის ფუნქციას ასრულებს. მოცემული ტემპერატურის უზრუნველსაყოფად პერანგში 3 და 4 ჭურჭლებს შორის განუწყვეტლივ შედის თერმოსტატიდან (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის) განსაზღვრული ტემპერატურის წყალი. რეაქტორში ტემპერატურა ყენდება საკონტაქტო თერმომეტრის საშუალებით.

რეაგენტების – 0,1 მოლურ ეთილაცეტატისა და 0,1 ნ ნატრიუმის ტუტის – ხსნარების განსაზღვრულ რაოდენობებს ასხამენ რეაქტორში მის სახურავში დატანებული ხვრელიდან. რეაქციის მიმდინარეობის შესაბამისად NaOH-ის კონცენტრაცია მცირდება. შესაბამისად მცირდება ხსნარის ელგამტარობა. NaOH-ის კონცენტრაციის ცვლილება იზომება კონდუქტომეტრით სარეაქციო ნარევის ელექტროგამტარობის ცვლილების მიხედვით.

სამუშაო შემდეგი თანამიმდევრობით სრულდება: ჩართავენ თერმოსტატს 4. საკონტაქტო თერმომეტრით აყენებენ მოცემულ ტემპერატურას. რეაქტორში ძაბრის საშუალებით ასხამენ ეთილაცეტატის 0,1 მოლური ხსნარის საჭირო რაოდენობას და ჩართავენ სარევის 1. ამზადებენ კონდუქტომეტრს გაზომვებისათვის და რეაქტორში ათავსებენ ელექტროდებს 2. კონდუქტომეტრს აერთებენ თვითჩამწერთან რომლის ლენტზეც ასევე ფიქსირდება ხსნარის ელექტროგამტარობის ცვლილება. სწრაფად ასხამენ რეაქტორში 0,1 ნ NaOH-ის საჭირო რაოდენობას. ჩასხმის დაწყებასთან ერთად ჩართავენ წამსაზომს. მიმდინარე კონცენტრაციების C_A მნიშვნელობებს იღებენ როგორც კონდუქტომეტრის სკალიდან, ასევე თვითჩამწერის ლენტიდან. მიღებული მონაცემები შეაქვთ I და II ცხრილებში.

დავალებათა კარიანტები

I კარიანტი

1. ჩატარეთ ცდა რეაგენტების კონცენტრაციის ცვლილების დროისაგან დამოკიდებულების დასადგენად (კინეტიკური მრუდები) რეაგენტების სტექიომეტრიული და არასტექიომეტრიული ნარეგებისათვის მოცემულ ტემპერატურაზე.
2. ყოველი ცდისათვის განსაზღვრეთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარის k მუდმივა.

II ვარიანტი

- 1, ჩატარეთ ცდა რეაგენტების კონცენტრაციის ცვლილების დროისაგან დამოკიდებულების დასადგენად (კინეტიკური მრუდები) რეაგენტების სტექიომეტრიული და არასტექიომეტრიული ნარეგებისათვის მოცემულ ტემპერატურაზე.
2. ყოველი ცდისათვის განსაზღვრეთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარის k მუდმივა.
3. განსაზღვრეთ რეაქციის აქტივაციის ენერჯიის სიდიდე.

I ცხრილი

ეთილაცეტატის გასაპვნიის რეაქციის
კინეტიკის გამოკვლევა

t , წმ	C_B , კმოლი/მ ³	C_A , კმოლი/მ ³	$C_{A, საანვ}$

II ცხრილი

ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავების შედეგები

ცდის ნომერი	T, K	$M=C_{B,0}/C_{A,0}$	k , მ ³ ·წმ ⁻¹ ·კმოლი ⁻¹

ექსპერიმენტის შედეგების დამუშავება

1. რეაგენტების საწყისი კონცენტრაციების განსაზღვრა

რეაქტორში A და B რეაგენტების შერევის შედეგად დასაწყისში ისინი ზავდება სარეაქციო სივრცის გაღივების გამო. ამიტომ საწყისი კონცენტრაციები $C_{A,0}$ და $C_{B,0}$ განსხვავებული იქნება ამოსავალი რეაგენტების საწყისი კონცენტრაციებისაგან, რომელთა მნიშვნელობებია:

$$C_{A, ამოს} = C_{B, ამოს} = 0,1 \text{ კმოლი/მ}^3.$$

თუ გამოვიყენებთ იდეალური შერევის მოდელის დაშვებებს საწყისი კონცენტრაციების გაანგარიშებისათვის, შეიძლება შემდეგი განტოლებების გამოყენება:

$$C_{A,0} = \frac{C_{A, ამოს} \cdot V_{A,0}}{V_{A,0} + V_{B,0}}; \quad C_{B,0} = \frac{C_{B, ამოს} \cdot V_{B,0}}{V_{A,0} + V_{B,0}}.$$

2. რეაგენტების მიმდინარე კონცენტრაციის განსაზღვრა

ტუტის კონცენტრაცია (C_B) განისაზღვრება კონდუქტომეტრისა და თვითჩამწერი ხელსაწყოს ჩვენებების მიხედვით; ეთილაცეტატის კონცენტრაცია განისაზღვრება შემდეგი განტოლებით:

$$C_A = C_{A,0} - C_{B,0} + C_B.$$

3. ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრა

ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მუდმივას არასტექიომეტრიული ნარევების შემთხვევაში ანგარიშობენ (8) განტოლებით, ხოლო სტექიომეტრიული ნარევებისათვის – (11) განტოლებით. მიღებული ექსპერიმენტული და გამოთვლილი დამოკიდებულებანი გადააქვთ $F(C) = \phi(t)$ კოორდინატებში აგებულ გრაფიკზე.

4. რეაქციის აქტივაციის ენერგიის განსაზღვრა

რეაქციის აქტივაციის ენერგიას ანგარიშობენ (12) განტოლებით, ამისათვის აგებენ გრაფიკს $\ln k - 1/T$ კოორდინატებში და საზღვრავენ აბსცისთა ღერძის მიმართ წრფის დახრის კუთხის ტანგენსს, სადაც $\tan \alpha = -E/R$.

დასრულებული სამუშაო აუცილებლად უნდა შეიცავდეს სრულ ანგარიშს ერთ-ერთი ცდისათვის.

VIII სამუშაო

ლითონების მომინანქრება

მინანქარი არის თხელი, გაუმჭვირვალე მინისებრი საფარი, რომელიც იცავს ლითონის ნაკეთობას აგრესიული სითხეებისა და აირების ზემოქმედებისაგან და თანაც აძლევს მას ლამაზ გარეგნულ იერს.

მინანქარი, მინის მსგავსად, მიიღება მთის ქანების შედნობით ე. წ. მდნობებთან. ჩვეულებრივ იყენებენ შემდეგ ქანებს: კვარცის ქვიშას, მინდვრის შპატს და პეგმატიტს. მდნობებს მიეკუთვნება სოდა, ბორაკი, პოტაში, გვარჯილა და სხვა მასალები, რომლებიც მთის ქანებთან ქმნიან ადვილდნობად ნაერთებს. მთის ქანები და მდნობენი, ჩვეულებრივ, მინანქრის შედგენილობს 80-85%-ია. ამ მასალების შედნობით მიიღება მეტად თუ ნაკლებად გამჭვირვალე მინა. ასეთი მინა არ გამოდგება ლითონის ზედაპირის დასაფარად, რადგან მასში გამოსჭვივის ლითონი, რაც აფუჭებს ნაკეთობის გარეგნულ სახეს. ამიტომ ამ მასალებს უმატებენ ე. წ. „გამყუჩებლებს“, ანუ ნივთიერებებს მინისათვის გაუმჭვირვალეობის მისანიჭებლად და საღებავებს - სასურველი ფერის მისაცემად. გამყუჩებლებად გამოიყენება მდნობი შპატი, კრიოლითი, ნატრიუმის სილიციუმ-ფტორიდი და კალის, სტიბიუმის, ცირკონიუმისა და ტიტანის ოქსიდები. საღებავებად – სპილენძის, ქრომის, კობალტის, ნიკელისა და სხვა ლითონების ოქსიდები. ყველა აღნიშნულ მასალას წინასწარ აშრობენ, აქუცმაცებენ; შემდეგ ურევენ საჭირო პროპორციით და შეადნობენ ლუმელში 1150-1300°C-ზე. ამ ტემპერატურაზე კაზში მიმდინარეობს მრავალი ფიზიკური და ქიმიური გარდაქმნა; იგი დნება, ლღვება და იქცევა ერთგვაროვან ბლანტ მასად. ამ მასას ეწოდება მინანქრის შენადნობი. მას ჩაუშვებენ ცივ წყალში, სადაც სწრაფად გაცივების გამო იმსხვრევა მცირე ზომის გრანულებად.

მინანქარს ნაკეთობის ზედაპირზე აფენენ ორი ხერხით: მშრალი (ფხვნილის მეთოდი) - წმინდად დაქუცმაცებული

ფხვნილის სახით და სველი (შლიკერის მეთოდი) – მინანქრის წყალ-სუსპენზიის სახით, რომელსაც შლიკერი ეწოდება. შემდეგ დანაფარიან ნაკეთობას გამოწვავენ $800-900^{\circ}\text{C}$ -ზე. გამოწვის შედეგად მინანქრის ნაწილაკები შეადნება ერთმანეთს და წარმოიქმნება ერთიანი მინისებრი დანაფარი. კარგი შედეგები მიიღება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ნაკეთობას თანამიმდევრობით ფარავენ ორი სახის მინანქრით: ფუძე მინანქრით, რომელსაც აფენენ უშუალოდ ლითონის ზედაპირზე და დამფარავი მინანქრით, რომელიც უკვე გამოძვარ ფუძე მინანქარზე უნდა დაეფინოს. დანიშნულების მიხედვით მინანქარი შეიძლება იყოს ტექნიკური და მხატვრული. ტექნიკური მინანქრით ძირითადად ფარავენ თუჯისა და ფოლადის ნაკეთობებს, კოროზიისაგან დაცვის მიზნით. მხატვრული ან საიუველირო მინანქარი გამოიყენება ოქროს, ვერცხლისა და სპილენძის ნაკეთობათა მოსაპირკეთებლად.

არ შეიძლება აქ არ აღვნიშნოთ, რომ მხატვრული მინანქრის ტექნოლოგიამ, რომელიც გასულ საუკუნეებში ჩაისახა, ჩვენს ქვეყანაში უმაღლეს დონეს მიაღწია. მთელ მსოფლიოში ცნობილია ქართული ტიხრული მინანქრის მაღალმხატვრული ნიმუშები. ტიხრული მინანქრის საიუველირო ნაკეთობათა დამზადების ტექნოლოგია, რომელიც ერთხანს დაკარგულად ითვლებოდა, ამჟამად ისევ აღორძინდა და წარმატებით ვითარდება.

მინანქრის დანაფარი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს: ა) მჭიდროდ ეკვროდეს ლითონს; ბ) უძლებდეს ტემპერატურის ცვლილებას, არ უნდა იბზარებოდეს და ცილებოდეს ლითონს; გ) იყოს თანაბარი და მოელვარე, ადვილად იწმინდებოდეს; დ) იყოს მკვრივი, ე. ი. არ უნდა ჰქონდეს ბზარები და ფორები; ე) არ უნდა იშლებოდეს ხსნარებისა და აირების მოქმედებით, რომლებსაც ეხება იგი ექსპლუატაციის დროს; ვ) არ უნდა შეიცავდეს ისეთ ნაერთებს,

რომლებმაც შეიძლება გააფუჭონ საკვები პროდუქტების ხარისხი.

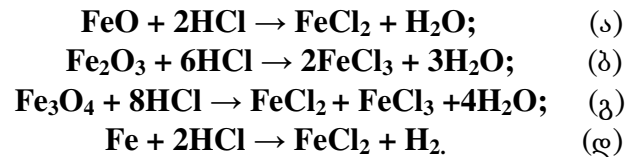
მინანქრის დანაფარის ხარისხი დამოკიდებულია მის ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებზე, იმ ლითონის ხარისხზე, რომელზედაც არის დაფენილი, მომინანქრების ტექნოლოგიური პროცესის ყველა ოპერაციის სწორად წარმართვაზე.

მინანქრის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები მისი ქიმიური შედგენილობის ფუნქციაა. უმნიშვნელოვანესი თვისებებია გაფართოების კოეფიციენტი, დნობის ტემპერატურა, სითბოტევადობა, თერმული მდგრადობა და სიმკვრივე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მინანქრის გაფართოების კოეფიციენტი. თუ იგი აღემატება ლითონის გაფართოების კოეფიციენტს მინანქრის ფენაში წარმოიქმნება თმისებრი ბზარები, ხოლო თუ ნაკლებია – მინანქარი შორდება ლითონს. პრაქტიკულად მინანქრის გაფართოების კოეფიციენტი ფართო ზღვრებში იცვლება – $270 \cdot 10^{-7}$ -დან $340 \cdot 10^{-7}$ -მდე.

ფოლადის მინანქრით დაფარვისა და დანაფარის გამოცდის მეთოდიკა

1. ნაკეთობის მომზადება მომინანქრებისათვის. ნაკეთობის ზედაპირის ხენჯისა და ორგანული ჭუჭყისაგან გასაწმენდად, აგრეთვე ლითონში დაჭიმულობათა გასათანაბრებლად, მას გამოწვავენ მუფელიან ელექტროლუმელში $850-860^{\circ}\text{C}$ -ზე 3-5 წთ-ის განმავლობაში. უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ცხიმები და ზეთები შეიძლება მთლიანად არ ამოიწვას, უფრო მაღალზე კი იქმნება ნაკეთობის ძლიერი დეფორმაციისა და სქელი, ამოჭმის დროს ძნელად ხსნადი ხენჯის წარმოქმნის საშიშროება. ხენჯის კარგად მოცილების მიზნით გამოწვამდე ფირფიტებს ასველებენ HCl-ის ან NH_4Cl -ის 5%-იანი ხსნარით, ნიმუშებს ლუმელში ათავსებენ სპეციალურ სადგამზე ისე, რომ ჰაერი ეხებოდეს მთელ ზე-

დაპირს. გამოწვა დამთავრებულად ითვლება როცა ნიმუში მიიღებს ღუმლის წითლად ვარვარების ფერს $650-850^{\circ}\text{C}$ -ის ინტერვალში. გამოწვის შემდეგ ნიმუშები უნდა გაცივდეს სადგამზე. კარგი გამოწვის ნიშნად ითვლება მოწითალო-შოკოლადისფერი ხენჯი, რომელიც ადვილად ცილდება ფირფიტას. ხენჯის მოშორების შემდეგ ფირფიტას ასუფთავებენ HCl -ის 20%-იანი ხსნარით ოთახის ტემპერატურაზე. გასუფთავების პროცესში მჟავა ურთიერთქმედებს რკინასა და რკინის ოქსიდებთან და წარმოიქმნება ხსნადი მარილები, აგრეთვე ხდება ხენჯის მექანიკურად მოცილება ლითონის ზედაპირიდან რეაქციის პროცესში გამოყოფილი წყლით:



გასუფთავების პროცესში წყალბადი აღადგენს სამკალენტიანი რკინის მარილებს ორვალენტიანად:



(ბ) და (გ) რეაქციები ძლიერ ნელა მიმდინარეობს, რადგან Fe_2O_3 და Fe_3O_4 მჟავებში სუსტად იხსნება.

ამოცმის შემდეგ ნიმუშს რეცხავენ წყლით; მუქი ფერის ნაღებს ამორებენ ჩვრით, შემდეგ ჩარეცხავენ გამდინარე წყლით და გაანეიტრალებენ Na_2CO_3 -ის 1%-იანი ცხელი ხსნარით. განეიტრალების ხანგრძლივობა 3-5 წუთია. ნეიტრალიზაციის შემდეგ ლითონის ზედაპირზე დარჩენილი ტენის მოსაცილებლად ფირფიტებს სწრაფად ამრობენ მუ-

ფელიან ღუმელში ან ელექტროქურაზე $80-90^{\circ}\text{C}$ -ზე და მოათავსებენ ექსიკატორში.

2. ფუძე მინანქრით დაფარვა. ნიმუშს ჩაუშვებენ მინანქრის შლიკერში, ზემეტს მოაშორებენ დაქნევით, ხოლო დარჩენილ ფენას სწრაფად გაათანაბრებენ ხელით. ფუძე მინანქარს აფენენ თხელ ფენად, რომლის სისქე გამოწვის შემდეგ 0,1-0,12 მმ-ია. ფუძე მინანქრიან ნიმუშს სწრაფად ამრობენ $80-100^{\circ}\text{C}$ -ზე ელექტროქურაზე; შემდეგ დადებენ სადგამზე და გამოწვავენ მუფელიან ელექტროღუმელში $860-880^{\circ}\text{C}$ -ზე.

8-10 წუთის განმავლობაში გამოწვის პროცესში დაქუცმაცებული მინანქრის შლიკერის ნაწილაკები ქმნის ერთიან ფენას და მინის ფუძე მინანქარი ეკვრის ლითონს. გამოწვა დამთავრებულია როცა გავარვარებული ნიმუშისა და მუფელის კედლების ფერი ერთნაირი გახდება. სწორად გამოწვარი გრუნტის დანაფარი მომწვანო-შავი ფერისაა.

3, ძირითადი მომინანქრება. მომინანქრების დროს მთავარი ყურადღება ფენის სისქეს უნდა მიექცეს; იგი თანაბარი უნდა იყოს. თუ შლიკერი თხელია და შპატელიდან უწყვეტ ნაკადად ჩამოედინება, მისი შედგენილობა შესაცვლელია, რისთვისაც განუწყვეტელი მორევით უმატებენ ბორაკის ცხელი ხსნარის, კალციუმის ოქსიდის, სოდის ან პოტაშის ცივი ნაჯერი ხსნარის რამდენიმე წვეთს.

დამფარავ მინანქარს ნელა ამრობენ თერმოსტატში $70-80^{\circ}\text{C}$ -ზე, რადგან სწრაფი გამოშრობისას იგი შეიძლება დასკდეს.

დამფარავ მინანქარს გამოწვავენ მუფელიან ღუმელში $840-850^{\circ}\text{C}$ -ზე მანამ, სანამ ზედაპირი ბრწყინვალე არ გახდება. გამოწვის პროცესი შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე უნდა ჩატარდეს, რათა არ გადნეს ფუძე მინანქარი. იმის მიხედვით, თუ რა მოთხოვნილებებს უყენებენ ნაკეთობას, დამფარავ მინანქარს აფენენ ერთ ან ორ ფრნად. შემდეგ

მზა ნაკეთობას გამოცდიან ქიმიურ, თერმულ და მექანიკურ მდგრადობაზე.

დამფარავი მინანქრის ფენის სისქე გამოწვის შემდეგ 0,15-0,20 მმ უნდა იყოს; ტიტანიანი მინანქრისათვის – 0,08-0,12 მმ.

4. მზა ნაკეთობათა გამოცდა. მინანქარი სხვადასხვა ქიმიური რეაგენტების, ატმოსფერულ ზემოქმედებათა გავლენით თანდათანობით იშლება, რაც გარეგნულად იმაში გამოიხატება, რომ იგი ჯერ ჰკარგავს ბრწყინვალეობას, შემდეგ ხდება მქრქალი, ხაოიანი; ძლიერი მჟავები რამდენიმე წუთის განმავლობაში დუღილით მთლიანად შლის მინანქარს.

მინანქრის უნარს, გაუძლოს რეაგენტების ზემოქმედებას, ქიმიური მდგრადობა ეწოდება. არსებობს მინანქრის ქიმიური მდგრადობის განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდი.

საორიენტაციო განსაზღვრისათვის სარგებლობენ ლაქით გასინჯვის მეთოდით. მომინანქრებული ნიშნის ზედაპირზე აწვეთებენ მჟავას, ჩვეულებრივ ძმარმჟავას ან ლიმონმჟავას, 4-10%-იანი ხსნარის რამდენიმე წვეთს. დროის გარკვეულ მონაკვეთებში, მაგალითად, 1 წუთის შემდეგ მოწმენდენ თითო წვეთს; აღნიშნავენ დროს, რომლის განმავლობაშიც მინანქრის ზედაპირი ჰკარგავს ბრწყინვალეობას.

თერმული მდგრადობა ეწოდება მასალის უნარს გაუძლოს ტემპერატურის მკვეთრ ცვლილებას. თერმულ მდგრადობას ახასიათებენ თბოცვლათა რაოდენობით ან ტემპერატურათა მაქსიმალური ვარდნით, რომელსაც უძლებს მასალა, სანამ დაიშლებოდეს. თერმული მდგრადობა მომინანქრებულ ნაკეთობათა ხარისხის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელია, რადგან ექსპლუატაციის პროცესში ხშირად მათ უხდებათ მუშაობა ტემპერატურათა მკვეთრი ცვლილების პირობებში.

მინანქრის თერმულ მდგრადობას მრავალი ფაქტორი განსაზღვრავს. გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მინანქრის

ფენაში წარმოქმნილ დაჭიმულობას. მინანქრის თერმული გაფართოების კოეფიციენტი ნაკლებია ლითონისაზე, ამიტომ სწრაფად გახურებისას მინანქრის ფენაში წარმოიქმნება კუმშვის დაჭიმულობა, სწრაფად გაცივებისას კი – გაჭიმვისა. მინანქრის დანაფარის თერმული მდგრადობა დამოკიდებულია, აგრეთვე, ლითონთან მისი შეჭიდვის სიმტკიცესა და სისქეზე; რაც უფრო სქელია მინანქრის ფენა, მით ნაკლებად მდგრადია იგი. თერმულ მდგრადობაზე ძლიერ მოქმედებს გაცივების სიჩქარე, გამაცივებელი გარემოს სახე და თვისებები. მინანქრის დანაფარი ჰაერზე გაცივებით უფრო ნაკლებად ზიანდება, ვიდრე წყლით გაცივებისას.

თერმულ მდგრადობაზე მინანქრის გამოსაცდელად ხშირად იყენებენ შემდეგ მეთოდს: მომინანქრებულ ნაკეთობებს ათავსებენ წინასწარ 200°C-მდე გახურებულ ლუმელში, აყოვნებენ იქ 20 წთ-ის განმავლობაში და აცივებენ წყალში. გამოცდას იმეორებენ მანამ, სანამ მინანქრის დანაფარი არ დაიწყებს დასკდომას ან ატკოჩვას. თერმული მდგრადობის მაჩვენებლად ღებულობენ იმ მაქსიმალურ ტემპერატურას, რომელსაც დაუზიანებლად გაუძლო დანაფარმა.

ლიტერატურა

1. რ. გაფრინდაშვილი. ზოგადი ქიმიური ტექნოლოგია. “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, თბილისი. 2003.
2. რ. გაფრინდაშვილი, მ. ღვინიაძე, ე. ზაქარიაძე. ლაბორატორიული პრაქტიკუმი ზოგად ქიმიურ ტექნოლოგიაში. თბილისი, “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 1991. 87 გვ.
2. В. С. Бесков. Общая химическая технология. Москва. Академкнига. 2006.
3. А. Я. Авербух и др. Практикум по общей химической технологии. Москва. Высшая школа. 1979.

წინასიტყვაობა	3
I სამუშაო. სულფიდური მადნების გამოწვა	4
II სამუშაო. ნატრიუმის ტუტის მიღება ფერიტული მეთოდით	14
III სამუშაო. ნავთობპროდუქტების სიბლანტის განსაზღვრა	24
IV სამუშაო. ნავთობპროდუქტების კატალიზური კრეკინგი	35
V სამუშაო. აირის ანალიზი	46
VI სამუშაო. ნატრიუმის ქლორიდის წყალხსნარის ელექტროლიზი	55
VII სამუშაო. იდეალური შერევის პერიოდული მოქმედების რეაქტორის გამოკვლევა	68
VIII სამუშაო. ლითონების მომინანქრება	78
ლიტერატურა	86

სარჩევნი