



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

ნინო მერებაშვილი

სს „რუსთავის აზოტის“ ამიაკის და ციანმჟავას წარმოებებში
გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტების ანალიზური კონტროლის
მეთოდების შემუშავება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - ქიმია

შიფრი - 0531

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2022 წ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნინო მერებაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „სს „რუსთავის აზოტის“ ამიაკის და ციანმჟავას წარმოებებში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტების ანალიზური კონტროლის მეთოდების შემუშავება“-ს და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: პროფესორი მაია ცინცაძე

ქიმიის დოქტორი ვალერი მაჭარაშვილი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ

ავტორი: ნინო მერებაშვილი

დასახელება: სს „რუსთავის აზოტის“ ამიაკის და ციანმჟავას წარმოებებში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტების ანალიზური კონტროლის მეთოდების შემუშავება.

სადოქტორო პროგრამა: ქიმია

ხარისხი: ქიმიის დოქტორის აკადემიური ხარისხი

სხდომა ჩატარდა _____

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა _____

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ს.ს. „რუსთავის აზოტში“ ამიაკის წარმოებაში კონვერტირებული აირის CO₂-საგან გასაწმენდად სხვადასხვა აბსორბენტებიდან შერჩეულია პიპერაზინით აქტივირებული მეთილდიეთანოლამინი. კონვერტირებული აირის ნახშირორჟანგისაგან გაწმენდის მიზანია ამიაკის სინთეზის კატალიზატორის დაცვა მოწამვლისა და დეაქტივაციისაგან. აბსორბენტი შეირჩა მისი ნახშირორჟანგის მიმართ მაღალი ტევადობის, სხვა აბსორბენტებთან შედარებით ცირკულაციის და რეგენერაციის სტადიაზე ორთქლის ნაკლები დანახარჯის გამო. გამოთავისუფლებული ორთქლის ხარჯზე დაინერგა კონდენსაციური ელექტროსადგური, რის საშუალებითაც ქარხანა გამოიმუშავებს ელექტროენერგიას.

ციანმჟავას წარმოებაში პოლიმერიზაციის პროცესის თავიდან აცილების მიზნით წლების განმავლობაში გამოიყენებოდა ორთოფოსფორმჟავა, რომელიც კონტაქტური აირებიდან იკავშირებდა ნარჩენ ამიაკს. წარმოებაში არსებული ტექნოლოგიური რეჟიმებიდან გამომდინარე ორთოფოსფორმჟავას მხოლოდ საერთო რაოდენობის მესამედს აქვს უნარი ამიაკთან წარმოქმნას მდგრადი ერთხანაცვლებული ფოსფატი, შესაბამისად სისტემაზე ის მუშაობდა როგორც ერთფუძიანი მჟავა. მოგვიანებით ორთოფოსფორმჟავას ჩანაცვლება მოხდა უფრო მაღალტექნოლოგიური აბსორბენტით-მმარმჟავით. მმარმჟავა ერთფუძიანი აქროლადი მჟავაა, რომელსაც ორთოფოსფორმჟავასგან განსხვავებით აქვს უნარი მოახდინოს ციანმჟავას სტაბილიზაცია, როგორც თხევად, ასევე აირად ფაზაში და ამიაკთან წარმოქმნას სტაბილური ნაერთი ამონიუმის აცეტატი. ახალი ინჰიბიტორის დანერგვამ წარმოება გახადა უფრო სტაბილური და უსაფრთხო.

ამიაკის და ციანმჟავას წარმოების მართვა წარმოუდგენელია შესაბამის ტექნოლოგიურ სტადიაზე ანალიზური კონტროლით უზრუნველყოფის გარეშე. „რუსთავის აზოტი“-ში აღნიშნულ წარმოებებში გამოიყენებული აბსორბენტები შეიცვალა უფრო ეფექტური და მაღალტექნოლოგიური აბსორბენტებით. აბსორბენტების შეცვლის შემდეგ აუცილებელი გახდა მათი შემადგენელი კომპონენტების ანალიზის მეთოდების შემუშავება.

ჩვენს მიერ შემუშავებულია პიპერაზინით აქტივირებულ მეთილდიეთანოლამინში პიპერაზინისა და მეთილდიეთანოლამინის ცალ-ცალკე განსაზღვრის მეთოდი, როგორც ნედლეულისათვის, ასევე ტექნოლოგიურ პროცესში მისი ექსპლუატაციის დროს. მეთოდები ემყარება პიპერაზინის უნარს გაიტიტროს ორი სხვადასხვა ექვივალენტობის წერტილში: პირველ საფეხურზე pH=6.0-7.6 დიაპაზონში, ხოლო მეორე საფეხურზე pH=3.0-4.6 დიაპაზონში. მეთოდები მორგებულია როგორც პოტენციომეტრული ტიტრაციისათვის, ასევე შერჩეულია შესაბამისი ინდიკატორებიც.

ციანმჟავას წარმოებისათვის ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა ციანმჟავას და მმარმჟავას ერთობლივად არსებობის დროს მათი ანალიზის მეთოდები. აქედან, ციანმჟავა არგენტომეტრული მეთოდით, ხოლო მმარმჟავა უკუტიტრაციით.

Abstract

In J.S.C “Rustavi Azot” Piperazine-activated methyldiethanolamine was selected from various absorbers to purify the converted gas from CO₂. Purification of converted gas from carbon dioxide is intended to protect the ammonia synthesis catalyst from poisoning and deactivation. The absorbent was selected because of its high carbon dioxide capacity, lower circulation compared to other absorbents, and lower steam consumption during the regeneration stage. At the expense of excess steam, a condensation power plant was introduced, through which the plant will generate electricity.

In the production of cyanic acid, orthophosphoric acid was used for years to bind the residual ammonia from the contact gases to prevent the polymerization process. Due to the technological modes of production, only one third of the total amount of orthophosphoric acid has the ability to form a stable substituent phosphate with ammonia, therefore on the system it worked as a Single-stemmed acid.

Later orthophosphoric acid was replaced by a higher-tech absorbent-acetic acid. Acetic acid is a single-base volatile acid which, unlike orthophosphoric acid, has the ability to stabilize cyanic acid in both the liquid and gaseous phases and to form a stable compound, ammonium acetate, with ammonia. The introduction of a new inhibitor has made production more stable and safer.

Managing the production of ammonia and cyanic acid is unthinkable without providing analytical control at the relevant technological stages. The absorbents used in the mentioned products in "Rustavi Nitrogen" have been replaced by more efficient and high-tech absorbents. After changing the absorbents, it became necessary to develop methods for the analysis of their constituent components.

We have developed a method for the separate determination of piperazine and methyldiethanolamine in piperazine-activated methyldiethanolamine, both for the raw material and during its operation in the technological process. The methods are based on the ability of piperazine to titrate at two different equivalence points: the first step in the pH=6.0-7.6 range and the second step in the pH=3.0-4.6 range. The methods are adjusted for both potentiometric titration and the relevant indicators are selected.

For the production of cyanic acid, we have developed methods for the analysis of cyanic acid and acetic acid in the presence of cyanic acid. Hence cyanic acid by argentometric method and acetic acid by inoculation.

შინაარსი

შესავალი		12
1.	ლიტერატურის მიმოხილვა	14
1.1.	ამიაკის წარმოების მოკლე აღწერა	14
1.1.1.	ბუნებრივი აირის გოგირდგაწმენდა	15
1.1.2.	მეთანის ორთქლით კონვერსია (I რიფორმინგი)	16
1.1.3.	მეთანის ორთქლ-ჰაერით კონვერსია (II რიფორმინგი)	16
1.1.4.	CO-ს ორსაფეხურიანი კონვერსიის სტადია	17
1.1.5.	კონვერტირებული აირის CO ₂ -საგან გაწმენდის სტადია მეთილდიეთანოლამინის ხსნარით	18
1.1.6.	აზოტწყალბადის ნარევის ფაქიზი გაწმენდა მეთანირების მეთოდით	18
1.1.7.	ამიაკის სინთეზის სტადია	19
1.1.8.	„მონსანტოს“ დანადგარი	19
1.2.	კონვერტირებული აირის CO ₂ -საგან გაწმენდის კვანძების დახასიათება	20
1.3.	ამიაკის წარმოების ანალიზური კონტროლის მეთოდების მიმოხილვა	23
1.4.	მონოეთანოლამინის ხსნარის ანალიზის მეთოდები	29
1.5.	ციანმჟავას წარმოების მოკლე აღწერა	34
1.5.1.	ნედლეულის მომზადება	34
1.5.2.	ციანმჟავას სინთეზი	35
1.5.3.	კონტაქტური აირების გაციება	37
1.5.4.	კონტაქტური აირებიდან ამიაკის აბსორბცია გოგირდმჟავით	38
1.5.5.	აირადი ციანმჟავას წყლით აბსორბცია	39
1.5.6.	ციანმჟავას წყალხსნარის რექტიფიკაცია, პროდუქციული ციანმჟავას მიღება	40
1.6.	კონტაქტური აირებიდან HCN-ის აბსორბცია-რექტიფიკაციის კვანძის განხილვა	41
1.7.	ციანმჟავას წარმოების ანალიზური კონტროლის მეთოდების მიმოხილვა	45
1.8.	ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აბსორბენტის ანალიზის მეთოდები	48
2.	ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები და მათი განსჯა	50
2.1.	კონვერტირებული აირის CO ₂ -საგან გასაწმენდად გამოყენებული აბსორბენტების დახასიათება	50
2.1.1.	მონოეთანოლამინი	50
2.1.2.	მეთილდიეთანოლამინი	52
2.1.3.	პიპერაზინი	53
2.2.	მონოეთანოლამინის გამოყენების უარყოფითი მხარეები	54
2.3.	კონტაქტური აირების აბსორბცია-რექტიფიკაციის კვანძზე გამოყენებული აბსორბენტისა და მისი აქტივატორების დახასიათება	56

2.3.1	ორთოფოსფორმჟავა _____	56
2.3.2	ძმარმჟავა _____	57
2.4.	ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აბსორბენტის აქტივატორის ორთოფოსფორმჟავას უარყოფითი მხარეები _____	59
2.5.	სს „რუსთავის აზოტის“ ამიაკის და ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტების ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავება _____	63
2.5.1.	ამიაკის წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავება _____	63
2.5.1.1.	მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის მეთოდის შემუშავება _____	65
2.5.1.2.	პიპერაზინის ანალიზის მეთოდის შემუშავება _____	73
2.5.1.3.	მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის სხვადასხვა თანაფარდობით აღებული ნარეგების ანალიზის მეთოდის შემუშავება _____	83
2.5.1.4.	კომპანია DOW-ს მიერ შემოთავაზებული საერთო ამინების განსაზღვრის ანალიზის მეთოდის მიხედვით მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ოპტიმალური კონცენტრაციების გამოთვლა _____	93
2.5.1.5.	ამიაკის წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ანალიზის მეთოდი _____	95
2.6.	ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტების ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავება _____	97
2.6.1.1.	ციანმჟავას ანალიზის მეთოდის შერჩევა _____	98
2.6.1.2.	ძმარმჟავას ანალიზის მეთოდის შერჩევა _____	104
2.6.1.3.	ციანმჟავა ძმარმჟავას ნარეგში მათი ინდივიდუალური განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება პირდაპირი ტიტრაციის მეთოდით _____	105
2.6.1.4.	ციანმჟავა ძმარმჟავას ნარეგში მათი ინდივიდუალურად განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება უკუტიტრაციით _____	110
2.6.1.5.	ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ანალიზის მეთოდი _____	114
2.7.	ამიაკის წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური ანალიზის მეთოდის შემუშავებისას მიღებული შედეგების განსჯა _____	120
2.8.	ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური ანალიზის შემუშავებისას მიღებული შედეგების განსჯა _____	122
	დასკვნა _____	125
	გამოყენებული ლიტერატურა _____	128

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.	მონოეთანოლამინის და მეთილდიეთანოლამინის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები _____	55
ცხრილი 2.	მეთილდიეთანოლამინის სიმკვრივის და შუქგარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრის შედეგები _____	66
ცხრილი 3.	სატიტრაცი ხსნარის (1 ნ HCl) შესწორების კოეფიციენტის დადგენისთვის ჩატარებული ანალიზის შედეგები _____	67
ცხრილი 4.	მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის 1 ნ HCl -ით ტიტრაციისას ხსნარში pH-ის ცვალებადობა. სატიტრაციად აღებული მეთილდიეთანოლამინის მასა იყო 2.0000 გ. _____	68
ცხრილი 5.	მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრის და ინდიკატორი ბრომთიმოლლურჯის თანაობისას _____	70
ცხრილი 6.	მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის შედეგები ინდიკატორი ბრომფენოლლურჯის გამოყენებით _____	72
ცხრილი 7.	მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის შედეგები pH-მეტრის გამოყენებით _____	72
ცხრილი 8.	პიპერაზინის ლღობის ტემპერატურის ექსპერიმენტალური განსაზღვრა _____	74
ცხრილი 9.	პიპერაზინის ხსნარის 1 ნ HCl-ით ტიტრაციისას ხსნარში pH-ის ცვალებადობა _____	75
ცხრილი 10.	პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრისა და ინდიკატორი ბრომთიმოლლურჯის თანაობისას _____	78
ცხრილი 11.	პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრისა და ინდიკატორი ბრომფენოლლურჯის თანაობისას _____	79
ცხრილი 12.	პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრისა და ბრომფენოლლურჯი+ბრომთიმოლლურჯი ნარევის თანაობისას _____	79
ცხრილი 13.	ანალიზის შედეგები ინდიკატორების ნარევის (ბრომფენოლლურჯი+ბრომთიმოლლურჯი) გამოყენებით _____	82
ცხრილი 14.	პიპერაზინის ანალიზის შედეგები pH-მეტრის გამოყენებით _____	83
ცხრილი 15.	მეთილდიეთანოლამინისაგან მომზადებული ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების ქიმიური ანალიზის შედეგები _____	84
ცხრილი 16.	პიპერაზინისაგან მომზადებული ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების ქიმიური ანალიზის შედეგები _____	85
ცხრილი 17.	მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის 1 ნ HCl-ით ტიტრაციისას ხსნარში pH- ის ცვალებადობა (მდეა- 50.0% ; პიპერაზინი- 15.0 %) _____	87

ცხრილი 18.	მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ტიტრაცია pH-მეტრისა და ინდიკატორების ბრომფენოლლურჯისა და ბრომთიმოლლურჯის ნარევის გამოყენებით _____	89
ცხრილი 19.	მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ცნობილი კონცენტრაციის ნარევის ქიმიური ანალიზის შედეგები _____	91
ცხრილი 20.	ციანმჟავას გატიტვრისთვის საჭირო 0.1 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობის გამოთვლა V_0 -ის მნიშვნელობის მიხედვით _____	102
ცხრილი 21.	კუბური სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარების მომზადება და მისი ანალიზები _____	107
ცხრილი 22.	სკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები _____	108
ცხრილი 23.	ფორსკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები _____	109
ცხრილი 24.	კუბური სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარების მომზადება და მისი ანალიზები _____	112
ცხრილი 25.	სკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები _____	113
ცხრილი 26.	ფორსკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები _____	114
ცხრილი 27.	ციანმჟავას გატიტვრისთვის საჭირო 0,1 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობის გამოთვლა V_0 -ის მნიშვნელობის მიხედვით _____	118

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1.	მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის ტიტრაციისას ხსნარის pH-ის დამოკიდებულება დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობაზე _____	69
ნახაზი 2.	პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე _____	77
ნახაზი 3.	მეთილდიეთანოლამინის და პიპერაზინის ნარევის ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე _____	88

მადლიერება

მადლობას მოვახსენებ თამარ მამაგულიშვილს - ცენტრალიზებული ტექნიკური კონტროლის განყოფილების, ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლის და ფიზიკურ-ქიმიური კვლევების ლაბორატორიის უფროსს კონსულტაციისთვის, საჭირო მასალებით დახმარებისთვის, კვლევითი და ექსპერიმენტული სამუშაოების მიმდინარეობის პროცესში მხარდაჭერისთვის.

შესავალი

რუსთავის აზოტი ამიერკავკასიაში მინერალური სასუქების მწარმოებელი უმსხვილესი ქიმიური ქარხანაა. აზოტოვანი სასუქებიდან იწარმოება ამონიუმის გვარჯილა აზოტის არანაკლებ 34.4%-ის შემცველობით და ამონიუმის სულფატი აზოტის არანაკლებ 21.0%-ის შემცველობით. გარდა აზოტოვანი სასუქებისა იწარმოება შემდეგი პროდუქტები: თხევადი და აირადი აზოტი; თხევადი და აირადი ჟანგბადი; თხევადი, აირადი და მყარი ნახშირორჟანგი (მშრალი ყინული); თხევადი ამიაკი და ამიაკიანი წყალი; ნატრიუმის ციანიდი. ქარხანაში ასევე იწარმოებოდა კალიუმის პერმანგანატი; ელექტროლიზური მანგანუმის დიოქსიდი, შაბიამანი, კარბამიდი და კაპროლაქტამი, რომლებიც დღეისათვის აღარ ფუნქციონირებს.

გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან დღემდე მსოფლიო სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესთან ერთად რუსთავის აზოტიც განიცდიდა ეკოლოგიას და ეს პროცესი დღესაც გრძელდება. მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში მსგავსი 13 წარმოებიდან რუსთავის აზოტი მოწინავე რიგებშია ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლებით, პროდუქციის დაბალი თვითღირებულებით, წარმოების ავტომატიზაციით, ტექნოლოგიური სიახლეების დანერგვით, ნედლეულის დაბალი ხარჯვითი კოეფიციენტებით და ა.შ. ეს არის შედეგი იმისა, რომ წარმოების ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალი მონაწილეობს აზოტოვანი სასუქების მწარმოებელი კომპანიების სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებსა თუ სიმპოზიუმებში, ეცნობა თანამედროვე ტექნოლოგიურ სიახლეებს და წარმოებაში ნერგავს ინოვაციურ ტექნოლოგიებს.

დღეისათვის მსოფლიო მეცნიერებისა და მწარმოებლების მხრიდან განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ენერგომატარებლების რაციონალურ გამოყენებას, რადგანაც მათზე მოთხოვნილება და ფასები მუდმივად ზრდადია. ასევე ეკოლოგიურ საკითხებს, განსაკუთრებით კი აზოტის ოქსიდების და ნახშირორჟანგის ემისიას ატმოსფერულ ჰაერში. ამ მხრივ რუსთავის აზოტში ერთ-ერთი ყველაზე ენერგოტევადი წარმოება ამიაკის წარმოებაა,

რომელიც როგორც ბუნებრივი აირის, ასევე ელექტროენერჯის, წყლის და ორთქლის მნიშვნელოვანი მომხმარებელია. ხოლო ნახშირორჟანგის ატმოსფეროში ემისიის თვალსაზრისით ასევე მნიშვნელოვანი დამაბინძურებელია. ამიაკის წარმოების ენერგოეფექტურობის გაზრდის ღონისძიებებში ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი იყო კონვერტირებული აირის ნახშირორჟანგისაგან გაწმენდის კვანძში გამოყენებული აბსორბენტი, რომლის კომპონენტთა ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავება არის წინამდებარე ნაშრომის მიზანი. ენერგოეფექტური ღონისძიების გატარებამ გამოათავისუფლა აბსორბენტის რეგენერაციისათვის საჭირო ორთქლის რესურსები, რომლის ხარჯზეც დაიდგა 9 მგვტ/სთ სიმძლავრის კონდენსაციური ელექტროსადგური.

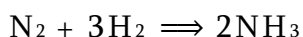
წინამდებარე ნაშრომის კვლევის კიდევ ერთი ობიექტი ციანმჟავას წარმოებაში ახლადდანიერგილი აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავებაა. ციანმჟავას განსაკუთრებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების გამო, იგი არასტაბილური წარმოებაა. ციანმჟავას პოლიმერიზაციის ავტოკატალიზური თვისების გამო პროცესი შესაძლოა აფეთქებითაც დასრულდეს, ამიტომ ტექნოლოგიურ პროცესში ადრე გამოყენებული აბსორბენტის ჩანაცვლება უფრო მაღალტექნოლოგიური აბსორბენტით, პირველ რიგში წარმოების სტაბილური მუშაობის უზრუნველყოფისთვისაა განსაზღვრული. აბსორბენტის ჩანაცვლებამ სისტემა გახადა სტაბილური, გაიზარდა პროდუქციის გამომუშავება და გაუმჯობესდა შრომის პირობები.

ამიაკის და ციანმჟავას წარმოებებში ახლადდანიერგილი აქტივირებული აბსორბენტების ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავებისათვის ჩატარებული კვლევები და შესაბამისი შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ მოცემულ თავებში.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. ამიაკის წარმოების მოკლე აღწერა

ამიაკის მიღების თანამედროვე პროცესი დაფუძნებულია აზოტისა და წყალბადის სინთეზის რეაქციაზე $380-450^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურათა ინტერვალში და $250-320$ ატმოსფერულ წნევაზე შემდეგი რეაქციის საფუძველზე [1]:



ამიაკის სინთეზის წარმოების ძირითად ნედლეულს წარმოადგენს აზოტ-წყალბადის ნარევი, ხოლო კატალიზატორად შერჩეულია ფოროვანი რკინა. აზოტი მიიღება ატმოსფერული ჰაერიდან, ხოლო წყალბადს იღებენ ბუნებრივი აირის კონვერსიით.

ამიაკი გამოიყენება აზოტმჭავას წარმოებისათვის, რომელიც თავის მხრივ საჭიროა სასუქების, წამლების, ლაქ-საღებავების, პლასტმასების, ხელოვნური ბოჭკოების მისაღებად [2].

ამიაკის მიღების ტექნოლოგია მოიცავს შემდეგ სტადიებს:

- ბუნებრივი აირის გოგირდგაწმენდა;
- მეთანის ორთქლით კონვერსია;
- მეთანის ორთქლ-ჰაერით კონვერსია;
- CO-ს ორსაფეხურიანი კონვერსიის სტადია;
- კონვერტირებული აირის გაწმენდის სტადია მეთილდიეთანოლამინის ხსნარით;
- აზოტწყალბადის ნარევის ფაქიზი გაწმენდის სტადია მეთანირების მეთოდით;
- კონვერტირებული აირის სინთეზის სტადია;
- „მონსანტოს“ დანადგარი [3].

1.1.1. ბუნებრივი აირის გოგირდგაწმენდა

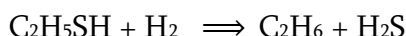
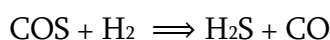
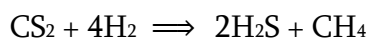
ბუნებრივი აირი ამიაკის წარმოებას მიეწოდება 9-10 ატმოსფერული წნევით, სადაც იგი რედუცირდება 7 ატმოსფერომდე. ამის შემდეგ ნაკადი იყოფა ორ ნაწილად:

- ძირითადი ნაკადი: საერთო ბუნებრივი აირის 60-70% მიემართება ტექნოლოგიური გარდაქმნებისთვის.

- დარჩენილი ნაკადი ~30-40% მიეწოდება მილოვან ლუმელში წვაზე.

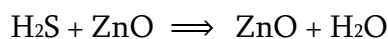
ბუნებრივი აირის ტექნოლოგიური ნაკადი იჭირხნება 7 ატმოსფეროდან 35-37 ატმოსფერომდე ცენტრიდანული კომპრესორით და მიემართება გოგირდგაწმენდაზე. ბუნებრივი აირის გოგირდგაწმენდა ხდება ორ საფეხურად:

I საფეხური - გოგირდნაერთების (გოგირდნახშირბადი, COS, მერკაპტანები, სულფიდები და დისულფიდები, თიოფენი და სხვა) გარდაქმნა ხდება არაორგანულ ნაერთში, H₂S-ში შემდეგი რეაქციების საფუძველზე [3,4]:



პროცესი მიმდინარეობს მაღალ ტემპერატურაზე (360-380°C) “Jonson Matthey”-ის ფირმის ალუმო-კობალტ-მოლიბდენის კატალიზატორზე [5].

II საფეხური - წარმოქმნილი გოგირდწყალბადი შთაინთქმება “Clariant”-ის თუთიის ოქსიდის კატალიზატორზე:

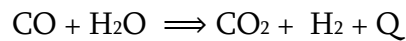
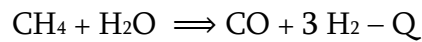


გოგირდგაწმენდიდან გამომავალი ბუნებრივი აირი ნორმით უნდა შეიცავდეს ა/უ 0.5 მგ/მ³ გოგირდწყალბადს [6].

1.1.2. მეთანის ორთქლით კონვერსია (I რიფორმინგი)

გოგირდწყალბადისგან გასუფთავებული ბუნებრივი აირი ერევა წყლის ორთქლს 1:4 თანაფარდობით, ცხელდება 450-480°C-მდე ღუმელის რადიაციულ ზონაში და მიეწოდება სარეაქციო მილებს [7].

სარეაქციო მილები შევსებულია ასევე „Jonson Matthey“-ის ფირმის ნიკელშემცველი (NiO=16%) კატალიზატორით KATALCO-57-4Q, რომლის თანაობისას მიმდინარეობს მეთანის ორთქლით კონვერსიის ენდოთერმული რეაქცია [8]:



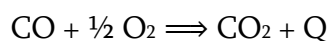
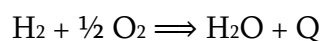
კონვერტირებული აირი სარეაქციო მილში ცხელდება 740-760°C ტემპერატურამდე და ხდება მეთანის გარდაქმნა CO-დ და წყალბადად. ნარჩენი ~6-12% მეთანის გარდაქმნა მიმდინარეობს მეორადი რიფორმინგის რეაქტორში.

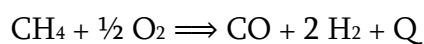
მეთანის და მისი ჰომოლოგების ორთქლ-ჰაერით კონვერსიის ენდოთერმული რეაქციის განსახორციელებლად საჭიროა სითბო (1000°C) [3].

1.1.3. მეთანის ორთქლ-ჰაერით კონვერსია (II რიფორმინგი)

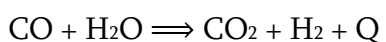
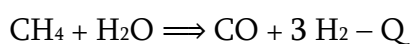
მეთანის ორთქლ-ჰაერით კონვერსიის სტადიაზე მიმდინარეობს მეთანის საბოლოო კონვერსიის რეაქცია და ამავდროულად ტექნოლოგიურ სისტემაში ხდება აზოტის შეყვანა, რომელიც საჭიროა აზოტწყალბადის ნარევის და შემდგომ ამიაკის მისაღებად.

ენდოთერმული რეაქციისთვის საჭირო სითბო მიიღება კონვერტირებული აირის კომპონენტების წვის ხარჯზე ჰაერის ჟანგბადის არემი:





~1200-1300°C-მდე გაცხელებული კონვერტირებული აირი გადაეწოდება რეაქტორის ცილინდრულ ნაწილში, სადაც 900-990°C-ზე „HALDOR TOPSOES“ ნიკელის კატალიზატორზე მიმდინარეობს მეთანის კონვერსიის საბოლოო რეაქცია [9]:

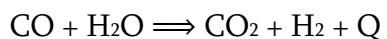


სარეაქციო აირი მეთანის ნარჩენი ა/უ 0.3%-ით მიემართება CO-ს კონვერსიის საფეხურზე. [3,10].

1.1.4. CO-ს ორსაფეხურიანი კონვერსიის სტადია

კონვერტირებული აირი, რომელიც შეიცავს CO-ს მნიშვნელოვან რაოდენობას (10-11%), თანამიმდევრობით ცივდება 900-990°C-დან 360°C-მდე და მიემართება CO-ს საშუალო- და დაბალტემპერატურული კონვერსიის სტადიაზე.

I საფეხური- CO-ს საშუალო ტემპერატურული კონვერსიის რეაქცია მიმდინარეობს “Clariant“-ის ფირმის რკინა-ქრომის კატალიზატორზე 320-360°C-ზე. რეაქციის ხარჯზე ტემპერატურა იზრდება 440°C-მდე [11,12]:



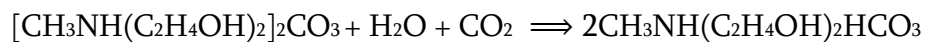
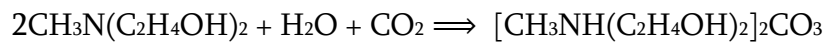
II საფეხური- CO-ს დაბალტემპერატურული კონვერსიის პროცესი წარმართება სპილენძშემცველ კატალიზატორზე, რომელსაც დამატებული აქვს თუთიის ოქსიდი და ალუმინი. კონვერტირებული აირი II საფეხურზე მიწოდებამდე ცივდება 200-220°C-მდე და რეაქციის ხარჯზე ტემპერატურა იზრდება [13].

კონვერსიის სტადიიდან გამომავალ აირში CO-ს ნარჩენი შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 0.7%-ს [3].

1.1.5. კონვერტირებული აირის CO₂-საგან გაწმენდის სტადია მეთილდიეთანოლამინის ხსნარით

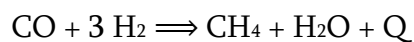
კონვერტირებული აირი მეთილდიეთანოლამინით გაწმენდის სტადიის წინ, გარდა წყალბადისა, აზოტისა და ნახშირჟანგისა, შეიცავს 18%-მდე CO₂-ს, რომელიც წარმოადგენს რკინის კატალიზატორის საწამლავს, შესაბამისად, აუცილებლად უნდა გაიწმინდოს CO₂-საგან.

CO₂-საგან გაწმენდა ხორციელდება აბსორბციის გზით, 40-50% მეთილდიეთანოლამინის ხსნარით მაღალ წნევაზე (23-24 ატმოსფერო) და დაბალ ტემპერატურაზე (ა/უ 50°C). ამ დროს მიმდინარეობს შემდეგი ქიმიური რეაქცია:



1.1.6. აზოტწყალბადის ნარევის ფაქიზი გაწმენდა მეთანირების მეთოდით

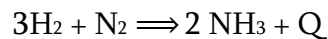
კონვერტირებული აირი MDEA გაწმენდის სტადიის შემდეგ შეიცავს ჟანგბადშემცველ ნაერთებს CO-ს და CO₂-ს ისეთი რაოდენობით, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს ამიაკის სინთეზის კატალიზატორის „მოწამვლა“, ამიტომ ტექნოლოგიური აირების მათგან გაწმენდას ახდენენ მეთანირებით. მეთანირების პროცესში მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციები:



პროცესი ტარდება 300-350°C ტემპერატურაზე ნიკელ-შემცველ კატალიზატორზე, რომელშიც NiO 35-40%-ია [3,14].

1.1.7. ამიაკის სინთეზის სტადია

მეთანირების სტადიის შემდეგ ტექნოლოგიური აირები იჭირხნება 250-280 ატმ. წნევამდე, ცხელდება 320-440°C ტემპერატურამდე და მიეწოდება სასინთეზო კოლონას, სადაც რკინის კატალიზატორზე მიიღება პროდუქციული ამიაკი [3,15].



1.1.8. „მონსანტოს“ დანადგარი

ამიაკის სინთეზის საამქროს თანამედროვე წარმოებებში, რომლებიც მუშაობს ცირკულაციური სქემით, აზოტწყალბადის ნარევის ნაწილი სინთეზის კოლონაში მუდმივად გარდაიქმნება ამიაკში. მიღებული ამიაკი გამოიყენება სისტემიდან, ხოლო რეაქციაში შეუსვლელი კომპონენტები კვლავ მიეწოდება კოლონაში. ცირკულაციურ აირში ხდება ისეთი კომპონენტების დაგროვება, როგორცაა არგონი, წყალბადი, მეთანი, ჰელიუმი და სხვა. „ინერტული“ აირები ხელს უშლის ამიაკის სინთეზის პროცესის ნორმალურ წარმართვას, სწორედ ამიტომ ცირკულაციური აირის ნაწილი განხერვის მიზნით გამოიყვანება სისტემიდან.

„განხერვის“ აირების „მონსანტოს“ დანადგარის მემბრანულ პრიზმებზე გატარებით მიიღება მაღალი სისუფთავის (ა/ნ 95%) წყალბადი [16].

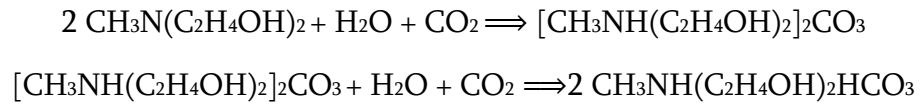
1.2. კონვერტირებული აირის CO₂-საგან გაწმენდის კვანძების დახასიათება

ტექნოლოგიური კონდენსატისაგან გაწმენდილი კონვერტირებული აირი მიეწოდება მეთილდიეთანოლამინით გარეცხვის სტადიას სააბსორბციო სვეტში, რომელიც წარმოადგენს ვერტაკალურ, ცილინდრულ აპარატს სამი თაროთი, ზედა ორ თაროზე მოთავსებულია კერამიკული ჩანაწყოები „ინტალოქსი“, ხოლო ქვედა თაროზე პოლიპროპილენის რგოლები „პალია“. სვეტში აირი მიეწოდება ქვედა ნაწილში, ხოლო აირების მორწყვა ხორციელდება აბსორბერის ზედა ნაწილიდან შემომავალი მეთილდიეთანოლამინის რეგენერირებული ხსნარით. აირისა და სითხის ურთიერთთანმხვედრი მიმართულებით მოძრაობის ხარჯზე აირი თითქმის სრულად იწმინდება CO₂-საგან, რომლის ნარჩენი კონცენტრაცია აბსორბერის მერე არ უნდა აღემატებოდეს 100 ppm-ს [3].

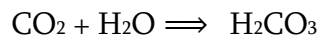
აბსორბერიდან გაწმენდილი კონვერტირებული აირი მიემართება სეპარატორში, სადაც აირს სცილდება აბსორბერიდან მის მიერ წატაცებული მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის წვეთები და უკუსარქველის საშუალებით კვლავ ჩაედინება სააბსორბციო სვეტის ქვედა ნაწილში, ხოლო გაწმენდილი კონვერტირებული აირი მიემართება შემდეგ სტადიაზე [3].

მეთილდიეთანოლამინის რეგენერირებული ხსნარი, მეთილდიეთანოლამინის შემცველობით 38-45% (მოც) გაივლის მიმდევრობით ჩართულ თბომცვლელებს და 72°C ტემპერატურითა და 0.85 კგ/სმ² წნევით მიეწოდება ტუმბოებს, სადაც იჭირხნება ~31 კგ/სმ²-მდე. დაჭირხნილი აბსორბენტი ცივდება რეგენერირებული მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის მაცივარში ა/უ 50°C ტემპერატურამდე და მიეწოდება სააბსორბციო სვეტს მორწყვაზე. მაცივრებში მეთილდიეთანოლამინის რეგენერირებული ხსნარის გაცივება ხორციელდება მბრუნავი წყლის საშუალებით. მაცივრების შემდეგ ხსნარის ნაწილი მიეწოდება ფილტრებზე მექანიკური მინარევებისა და ფისოვანი ნივთიერებებისაგან გასაწმენდად.

აბსორბერში 24-26 კგ/სმ² წნევასა და 50°C ტემპერატურაზე მეთილდიეთანოლამინის ხსნარით, რომელშიც საერთო ამინების კონცენტრაცია 35-45%-ის ზღვრებში ცვალებადობს, მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციები:



ამასთან CO₂-ის უმნიშვნელო ნაწილი რეაქციაში შედის წყალთან და წარმოქმნის ნახშირმჟავას:



სააბსორბციო სვეტის ჩანაწყოების გავლის შემდეგ CO₂-ით გამდიდრებული მეთილდიეთანოლამინის ხსნარი ჩამოედინება აპარატის ქვედა ნაწილში, საიდანაც მიემართება სარეგენერაციო სვეტში რეგენერაციაზე.

რეგენერატორი წარმოადგენს ვერტიკალურ, ცილინდრულ აპარატს, 25 საცრისებური, ერთი „ყრუ“ თევზით და კუბური ნაწილით. რეგენერატორში ნაჯერი მეთილდიეთანოლამინი მიეწოდება სამ ნაკადად: ნაჯერი ხსნარის პირველი ნაკადი ტემპერატურით ა/უ 62°C მიეწოდება სარეგენერაციო სვეტის 23-ე თევზს, ხოლო ნაჯერი ხსნარის დანარჩენი ნაწილი მიმდევრობით გაივლის თბომცვლელებს, სადაც რეგენერირებული მეთილდიეთანოლამინის სითბოს ხარჯზე ცხელდება 101÷103°C ტემპერატურამდე.

თბომცვლელები წარმოადგენენ ჰორიზონტალურ, გარსაცმშილოვან აპარატს „U“-სებრი მილებით, რომელთა სივრცეში მოძრაობს მეთილდიეთანოლამინის ნაჯერი ხსნარი, ხოლო მილთაშორის სივრცეში მეთილდიეთანოლამინის რეგენერირებული ხსნარი. თბომცვლელების შემდეგ გაჯერებული მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის ნაწილი ტემპერატურით ა/უ 93°C მიეწოდება სარეგენერაციო სვეტის მე-17 თევზს, ხოლო დანარჩენი ნაწილი სარეგენერაციო სვეტის მე-10 თევზზე.

რეგენერატორში 93÷95°C ტემპერატურასა და 0.7÷0.9 კგ/სმ² წნევაზე მიმდინარეობს CO₂-ის დესორბციის პროცესი. აბსორბენტი (მეთილდიეთანოლამინის ხსნარი) ჩამოედინება რეგენერატორის კუბური ნაწილისაკენ (თევზიდან თევზზე) და თბება სარეგენერაციო სვეტში ქვემოდან ზემოთ მო-

მავალი ორთქლ-აირნარევის ტემპერატურის ხარჯზე, შემთბარი ხსნარი კი თანდათან თავისუფლდება CO₂-საგან. კუბური ნაწილიდან მეთილდიეთანოლამინის ხსნარი გადაეწოდება მადულარებს მილთაშორის სივრცეში, სადაც კონვერტირებული აირის სითბოს ხარჯზე მეთილდიეთანოლამინის ხსნარი ცხელდება 118÷120°C-მდე და მიმდინარეობს ხსნარის ღრმა გაწმენდა CO₂-საგან. რეგენერირებულ ხსნარში CO₂-ის ნარჩენი კონცენტრაცია არ უნდა აღემატებოდეს 17 გ/ლ.

რეგენერირებული მეთილდიეთანოლამინის ხსნარი მადულარებიდან გადაედინება თბომცვლელებში სადაც თავის სითბოს გადასცემს მეთილდიეთანოლამინის ნაჯერ ხსნარს, თავად ცივდება ~75°C-მდე, შემდეგ თბომცვლელებში დამატებით ცივდება მბრუნავი წყლით ა/უ 165°C ტემპერატურამდე და იჭირხნება 28÷32 კგ/სმ² წნევამდე. რეგენერირებული მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის ნაწილი (~35 მ³/სთ-მდე) მაცივრების შემდეგ გადაეწოდება ფილტრებს, სადაც აპარატების ცილინდრულ თაროებზე ჩატვირთულ გააქტივებულ ნახშირზე ხდება მდებ-ს ხსნარის გაწმენდა. გაწმენდის შემდეგ აბსორბენტი კვლავ მიეწოდება სააბსორბციო სვეტის ზედა ნაწილს CO₂-ით გაჯერებული კონვერტირებული აირის მორწყვაზე.

მეთილდიეთანოლამინის ხსნარიდან გამოყოფილი CO₂, წყლის ორთქლთან ერთად ცივდება მბრუნავი წყლის საშუალებით წყლის კონდენსატორებში, სადაც ორთქლ-აირნარევის გაციებისას კონდენსირდება ტენი. დაკონდენსირებული ტენის აირიდან გამოყოფა ხორციელდება სეპარატორში, საიდანაც გამომავალი CO₂ მიემართება შემდგომი გამოყენებისათვის, ხოლო გამოყოფილი ფლეგმა მიემართება რეგენერატორის ზედა თევზზე.

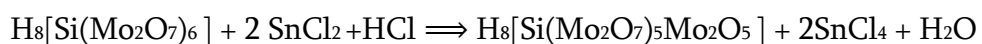
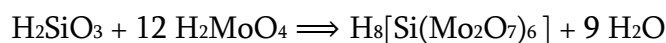
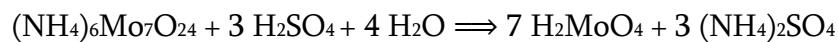
1.3. ამიაკის წარმოების ანალიზური კონტროლის მეთოდების მიმოხილვა

ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობის პარალელურად ხორციელდება წარმოების ანალიზური კონტროლი: ფოტოკოლორიმეტრული, სპექტროფოტომეტრული, ქრომატოგრაფიული, კონდუქტომეტრული აირ-ნალიზატორზე „БТИ-2“, იოდომეტრული, პერმანგანატომეტრული, ტიტრ-მეტრული და პოტენციომეტრული მეთოდებით. წარმოებაში კონტროლდება როგორც ნედლეულის, ასევე წარმოებული პრუდუქტი-თხევადი ამიაკის ხარისხობრივი მაჩვენებლები.

ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდებით ხორციელდება: გაუმარილოებულ წყალში SiO_3^{2-} -იონების და Fe^{3+} -ის განსაზღვრა, ტექნოლოგიურ კონდენსატში SO_4^{2-} -იონების განსაზღვრა და ქვების წყლებში PO_4^{3-} -იონების განსაზღვრა; დეაერირებულ წყალში ჟანგბადის შემცველობის განსაზღვრა.

SiO_3^{2-} -იონების განსაზღვრა: მეთოდი დამყარებულია სილიციუმმჟავას უნარზე მოლიბდენმჟავასთან წარმოქმნას ყვითელი ფერის სილიციუმმოლიბდატური კომპლექსური ნაერთი. აღნიშნული ყვითელი ფერის შუალედური კომპლექსი კალას ქლორიდით აღდგება ლურჯი ფერის მოლიბდენის ლურჯამდე.

სილიციუმმოლიბდატური კომპლექსი წარმოიქმნება მხოლოდ დაბალი მჟავიანობის პირობებში და მდგრადია მაღალი მჟავიანობისას:

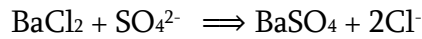


განსაზღვრა ხორციელდება ფოტოკოლორიმეტრზე KΦK-2 (ან სხვა ტიპის) 50 მმ სინათლის შთანთქმის ფენის სისქის კიუვეტებში [17].

Fe^{3+} -იონების განსაზღვრა: მეთოდის არსი მდგომარეობს სულფოსალიცილის მჟავას უნარზე რკინის მარილებთან (II და III ვალენტისანი) სუსტ ტუ-

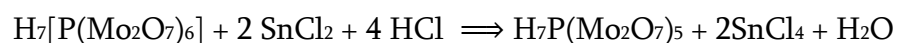
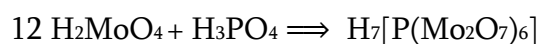
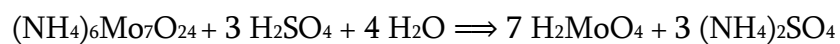
ტე არეში წარმოქმნას ყვითელი ფერის კომპლექსური ნაერთები. მეთოდის მგრძობელობაა 0,01 მგ/დმ³ [18].

SO₄²⁻-იონების განსაზღვრა: მეთოდი დამყარებულია SO₄²⁻-იონის ბარიუმის ქლორიდთან ურთიერთქმედების შედეგად ბარიუმის სულფატის სუსპენზიის მიღებაზე, შემდეგი რეაქციის საფუძველზე:



მიღებული სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს იღებენ ფოტოკოლორიმეტრზე 490 ნმ ტალღის სიგრძეზე. მეთოდის მგრძობელობაა 0.04-1.6 მგ/დმ³ SO₄²⁻ [19].

PO₄³⁻-იონების განსაზღვრა: ფოსფატების შემცველობას საზღვრავენ ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით ამონიუმის მოლიბდატით. ფოსფატების ურთიერთქმედებისას ამონიუმის მოლიბდატთან განსაზღვრულ მჟავა არეში წარმოიქმნება ყვითელი ფერის კომპლექსი-ფოსფომოლიბდატური ჰეტეროპოლიმჟავა H₇[P(Mo₂O₇)₆]. ამ მჟავას აღდგენისას კალას ქლორიდით მიიღება ცისფერი შეფერილობის კომპლექსი, რომლის შეფერილობას განსაზღვრავენ ფოტოკოლორიმეტრზე. მეთოდის მგრძობელობაა 0.1 მგ/დმ³.



მიღებული კომპლექსური ნაერთის გადაღებას ახდენენ 780 ნმ ტალღის სიგრძის შუქფილტრზე 50 მმ-იანი სინათლის შთანთქმის ფენის სისქის კიუვეტებით [20].

დეაერირებულ წყალში ჟანგბადის შემცველობის განსაზღვრა: მეთოდი დამყარებულია უფერო, აღდგენილი ფორმის საფრანინის, ჟანგბადით დაჟანგვის პროცესზე ვარდისფერ შეფერილობამდე. შეფერილობის ინტენსივობა პროპორციულია ჟანგბადის კონცენტრაციის [21].

სპექტროფოტომეტრული მეთოდებით ხორციელდება თხევად ამიაკში ზეთის შემცველობის განსაზღვრა: მეთოდი დამყარებულია ზეთის მასური კონცენტრაციის განსაზღვრაზე 0,2-დან 10 მგ/დმ³-მდე სპექტროფოტომეტრ-

ზე CΦ-16 259 ნმ ტალღის სიგრძის შუქფილტრზე ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვისას [22].

ამიაკის სინთეზის წარმოებაში ქრომატოგრაფიული მეთოდებით საზღვრავენ კონვერტირებულ და ცირკულაციურ აირში ძირითადი კომპონენტების, როგორცაა H_2 ; N_2 ; CH_4 ; CO ; Ar კონცენტრაციებს.

ქრომატოგრაფიული მეთოდები გამოიყენება ნივთიერებათა რთული ნარევების დაყოფასა და ანალიზისთვის. ეს მეთოდი აღმოაჩინა რუსმა მეცნიერმა მ.ს. ცვეტმა 1900 წელს, რომელმაც ქრომატოგრაფის საშუალებით ქლოროფილი დაყო შემადგენელ კომპონენტებად [23,24].

აირის ქრომატოგრაფებში ნარევის შემადგენელი კომპონენტები ნაწილდება ორ ფაზაში-მოდრავ და უძრავ ფაზებში. ქრომატოგრაფებში ანალიზებისათვის მოძრავ ფაზად ძირითადად გამოიყენება აირი, ან ორთქლი, მაგალითად: ჰელიუმი, წყალბადი, აზოტი და სხვა. ხოლო უძრავ ფაზად მყარი სორბენტები [25].

აირის ქრომატოგრაფები მუშაობს შემდეგი პრინციპით:

1. საკვლევი ნივთიერების მცირე რაოდენობა სპეციალური დოზატორით მიეწოდება შემცვლელ მოწყობილობას და შემდეგ სორბენტს;
2. აირნარევი სორბენტზე იყოფა შემადგენელ კომპონენტებად. ფაზებს შორის ერთდროულად მიმდინარეობს ადსორბცია-დესორბციის პროცესები;
3. კომპონენტებად დაყოფილი აირნარევი დეტექტორში მიეწოდება აირმატარებლის საშუალებით, სადაც ხდება ნივთიერებების რეგისტრაცია და ელექტროსიგნალად გარდაქმნა;
4. ელექტრონული სიგნალის მიხედვით რეგისტრატორზე მიმდინარეობს გრაფიკის გამოტანა და ნივთიერების იდენტიფიკაცია [26].

ამიაკის სინთეზის წარმოებაში აირების ანალიზი სრულდება „Цвет-500“ ტიპის აირის ქრომატოგრაფზე, აირმატარებლად გამოყენებულია ჰელიუმი, რომელიც სორბენტზე გატარების შემდეგ აირის შემადგებელ კომპონენტებს გამოწერს შემდეგი თანამიმდევრობით: ჟანგბადი, აზოტი, მეთა-

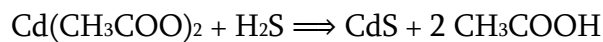
ნი, ნახშირორჟანგი. ქრომატოგრაფში ადსორბენტად გამოყენებულია CaX და NaX [27].

აირანალიზატორზე „BTU-2“-ზე ხორციელდება ტექნოლოგიურ აირებში CO₂; CO; O₂; CH₄; H₂; N₂ განსაზღვრა შთანთქმისა და წვის მეთოდებით.

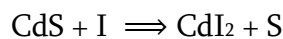
აირანალიზატორი „BTU-2“ შედგება ორი ერთმანეთთან დაკავშირებული ნაწილისაგან, პირველი ნაწილი ემსახურება საკვლევი სინჯის აღებასა და აირის მოცულობის განსაზღვრას, ხოლო მეორე ნაწილი საანალიზო სინჯში შემავალი კომპონენტების, როგორცაა CO₂; CO; O₂ განსაზღვრას შთანთქმის და H₂; CH₄; და სხვა განსაზღვრას წვის მეთოდებით [28].

იოდომეტრიული მეთოდით ხორციელდება:

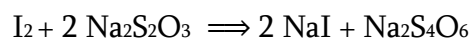
ბუნებრივ აირში გოგირდწყალბადის განსაზღვრა: მეთოდის არსი მდგომარეობს კადმიუმის აცეტატით გოგირდწყალბადის შთანთქმაზე შემდეგი რეაქციით [29]:



მიღებულ სულფიდს ამუშავებენ იოდის ხსნარით:

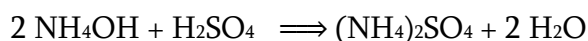


ხოლო ჭარბ იოდს ტიტრავენ ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარით:

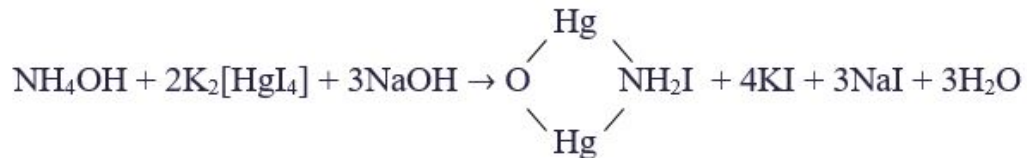


ტიტრიმეტრიული მეთოდებით ხორციელდება: ჰაერში, ამიაკიან წყალში, ორთქლის კონდენსატში, საბრუნავ და ჩამდინარე წყლებში ამიაკის შემცველობის განსაზღვრა; გაუმარილოებულ წყალში და ორთქლის კონდენსატში Cl⁻-იონების განსაზღვრა; წყლის ტუტეობის და სიხისტის განსაზღვრა;

ამიაკიან წყალში ამიაკის განსაზღვრა: მეთოდი დამყარებულია ამიაკის გოგირდმჟავას ხსნარით ნეიტრალიზაციაზე ინდიკატორ მეთილწითელის თანაობისას, რომელიც შეფერილობას იცვლის 4.4-6.2 pH-ის ინტერვალში. ტიტრაციისას მიმდინარეობს შემდეგი რეაქცია [30]:

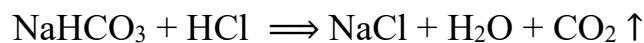
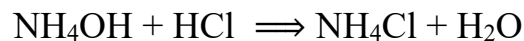


ამიაკის შემცველობის განსაზღვრა: ამიაკი და ამონიუმის მარილები ნეს-
ლერის რეაქტივთან წარმოქმნიან კომპლექსურ ნაერთებს. თუ ხსნარში ამია-
კი და ამონიუმის მარილები დაბალი შემცველობითაა ხსნარი იფერება
ყვითლად, ხოლო მაღალი შემცველობისას წარმოიქმნება მურა-წითელი ფე-
რის ნალექი. [31]



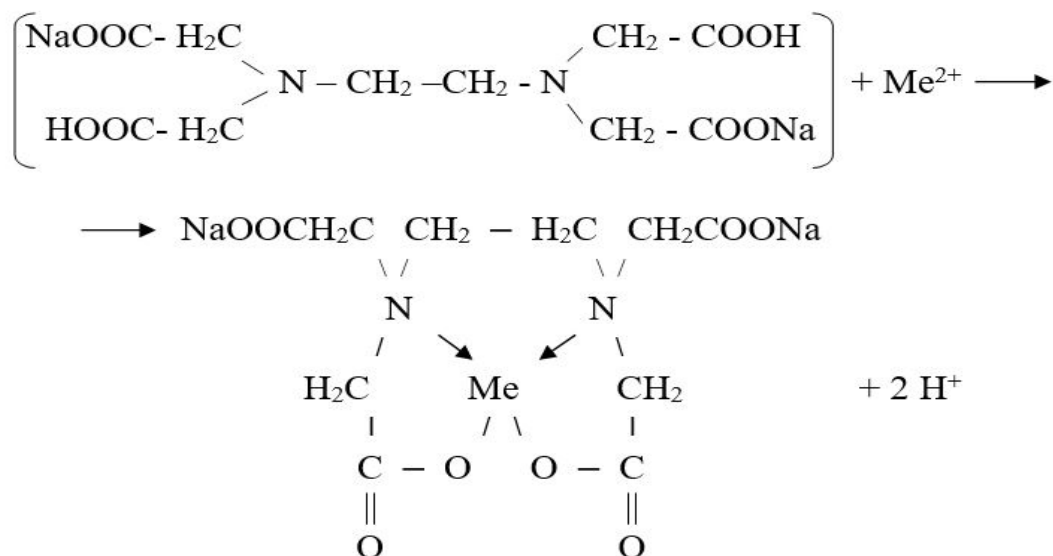
ტუტიანობის განსაზღვრა: ტუტიანობა ძირითადად განპირობებულია მასში
არსებული კარბონატებით, ჰიდროკარბონატებით და სუსტი ორგანული მჟა-
ვას მარილებით. შესაძლებელია ასევე შეიცავდეს ამიაკს.

საერთო ტუტიანობა განისაზღვრება მისი მჟავათი ნეიტრალიზაციით,
ინდიკატორ მეთილწითელის თანაობისას, რომელიც შეფერილობას იცვლის
4.4-6.2 pH-ის ზღვრებში [32].



სიხისტის განსაზღვრა: სიხისტის განსაზღვრის კომპლექსომეტრული, ანუ
ტრილონომეტრული მეთოდი, დაფუძნებულია ტრილონ „ბ“-ს უნარზე ორ
და სამვალენტთან ლითონთა კათიონებთან წარმოქმნას წყალში ხსნადი კომ-
პლექსური ნაერთები.

კათიონთა რიცხვს, რომელთანაც ტრილონ „ბ“ წარმოქმნის კომპლექს-
ნაერთებს, მიეკუთვნებიან: კალციუმის, მაგნიუმის, სპილენძის, თუთიის,
მანგანუმის, რკინის და ალუმინის კათიონები [33].



კონდუქტომეტრული მეთოდით ხორციელდება ამიაკიან წყალში გაუმარილოებულ და ქვაბის წყლებში მარილშემცველობის განსაზღვრა;

მარილშემცველობის განსაზღვრა ხორციელდება მასში ელექტროგამტარობის მნიშვნელობის გაზომვის ხარჯზე. წყალში არსებული ყველა ნივთიერება (მარილები, ფუძეები, მჟავები) დისოცირდებიან კათიონებად და ანიონებად, რომლებიც წარმოადგენენ ელექტროდენის გადამტანებს. ხსნარში მარილშემცველობის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია მისი ელექტროგამტარებლობის [34].

პერმანგანატომეტრული მეთოდებით წყლის დამჟანგველობის განსაზღვრა; **წყლის დამჟანგველობა**-ეს არის წყალში ორგანული და მინერალური ნივთიერებების შემცველობის მაჩვენებელი, რომელიც გამოისახება მგ ჟანგბადით 1 ლიტრ წყალზე.

პერმანგანატომეტრული დამჟანგველობის მეთოდი გამოიყენება ნაკლებად დაბინძურებულ წყლებში დამჟანგველობის განსაზღვრისათვის [35].

დამჟანგველობის განსაზღვრისას საკვლევ ხსნარში ამატებენ ჭარბი რაოდენობით კალიუმის პერმანგანატის ხსნარს, ადუღებენ 10 წთ-ის განმავლობაში და დუდილისას KMnO_4 -დან გამოყოფილი ატომური ჟანგბადი

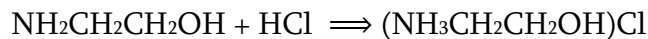
ჟანგავს წყალში არსებულ ორგანულ ნივთიერებებს. პროცესი შესაძლოა წარმართოს, როგორც ტუტე, ისე მჟავა არეში [36].

ხელსაწყო Inolab wtw 7310 დანიშნულებაა წყლის და სხვადასხვა ხსნარების წყალბადური მაჩვენებლის, pH-ის გაზომვა. შესაბამისი ელექტროდის მიერთების შემთხვევაში ასევე შესაძლებელია ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალის განსაზღვრა [37].

1.4. მონოეთანოლამინის ხსნარის ანალიზის მეთოდები

ა) მონოეთანოლამინის ხსნარში მონოეთანოლამინის განსაზღვრა ნეიტრალიზაციის მეთოდით.

მეთოდი დამყარებულია მონოეთანოლამინის (მეა-ს) ხსნარის 0.1 ნ მარილმჟავას ხსნარით ნეიტრალიზაციის პროცესზე.



250 სმ³ ტევადობის კონუსურ კოლბაში იღებენ 1 სმ³ საანალიზო ხსნარს, უმატებენ 20-25 სმ³ გამოხდილ წყალს, 2-3 წვეთ ინდიკატორ მეთილწითელს და ტიტრავენ 0.1 ნ მარილმჟავას ხსნარით ყვითელიდან ვარდისფერი შეფერილობის წარმოქმნამდე.

ძირითადი ნივთიერების კონცენტრაციას ხსნარში (წონით %) ანგარიშობენ ფორმულით [38]:

$$\% \text{ მეა} = \frac{a \cdot k \cdot 0.0061 \cdot 100}{I \cdot d} = \frac{a \cdot k \cdot 0.61}{I \cdot d}$$

სადაც:

a - 0.1 ნ HCl-ის ხსნარის რაოდენობა სმ³-ში, რომელიც დაიხარჯა გატიტრავზე;

k - 0.1 ნ HCl-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

d - მონოეთანოლამინის ხვედრითი წონა, გ/სმ³;

0.0061 - მონოეთანოლამინის რაოდენობა გ, რომელიც შეესაბამება 0.1 ნ HCl-ის 1 სმ³.

ბ) მონოეთანოლამინის ხსნარში CO₂-ის განსაზღვრა მოცულობითი მეთოდით (სპირტის მეთოდით).

მონოეთანოლამინი და მისი მარილების სპირტხსნარები ინდიკატორ ტიმოლფტალეინის თანაობისას იძლევა ნეიტრალურ რეაქციას. NaOH-ის

ხსნარის დამატებისას წარმოქმნილი ლურჯი შეფერილობა შეესაბამება რეაქციაში შეუსვლელი ჭარბი NaOH-ის რაოდენობას, რომლის გატიტვრაც ხდება 0.5 ნ CH₃COOH-ის ხსნარით.

სხვაობა თავიდან დამატებული NaOH-ის ხსნარისა და 0.5 ნ CH₃COOH-ის ხსნარის რაოდენობას შორის, რომელიც დაიხარჯა რეაქციაში შეუსვლელი NaOH-ის ხსნარის გატიტვრაზე, შეესაბამება გამოსაკვლევ CO₂-ის რაოდენობას, რომელსაც შეიცავს მონოეთანოლამინის ნამუშევარი ხსნარი.

100 სმ³ ტევადობის კონუსურ კოლბაში იღებენ 5 სმ³ რეგენერირებულ მონოეთანოლამინის ხსნარს, ან 2 სმ³ მონოეთანოლამინის ნაჯერ ხსნარს, უმატებენ 25 სმ³ ეთილის სპირტს, 5-6 წვეთ ინდიკატორ ტიმოლფტალეინს და 5 სმ³ 1 ნ NaOH-ის ხსნარს, ურევენ და ტიტრავენ 0.5 ნ ძმარმჟავას ხსნარით, ლურჯი ფერიდან ხსნარის გაუფერულებამდე. (5 წუთის განმავლობაში ხსნარმა არ უნდა დაიბრუნოს ცისფერი ფერი).

მონოეთანოლამინის ხსნარში CO₂-ის შემცველობას ანგარიშობენ შემდეგი ფორმულით:

$$\text{გ/დმ}^3 \text{ CO}_2 = \frac{(2 \cdot a \cdot K_1 - b k_2) \cdot 0.011 \cdot 2 \cdot 1000}{C}$$

სადაც:

a- საანალიზო სინჯზე დამატებული 1 ნ NaOH-ის ხსნარის რაოდენობა, სმ³-ში;

k₁- 1 ნ NaOH-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

b- გატიტვრაზე დახარჯული 0.5 ნ CH₃COOH-ის ხსნარის რაოდენობა, სმ³;

k₂- 0.5 ნ CH₃COOH-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

0.011- CO₂-ის რაოდენობა გრამებში, რომელიც შეესაბამება 1 სმ³ 0.5 ნ NaOH- ის ხსნარს [38].

გ) მონოეთანოლამინის ხსნარის კოროზიულობის განსაზღვრა. თვისებითი ანალიზი.

სპილენძის ორვალენტური იონი რეაგირებს მონოეთანოლამინის ხსნართან და წამოქმნის მუქი ლურჯი ფერის კომპლექსურ ნაერთს.

მონოეთანოლამინის დაშლის პროდუქტები და შეუქცევადი რეაქციის შემდეგ გამოყოფილი პროდუქტები მონოეთანოლამინს და CO₂-ის შორის აჩქარებს დამჟანგვლობას (კოროზიას), რაც გამოწვეულია CO₂-თა და H₂S-ის მოქმედებით.

Cu²⁺-იონი ამ პროდუქტებთან იძლევა მწვანე რუხი ფერის შეფერილობას, რომელიც განსხვავდება იმ სპილენძის კომპლექსისაგან, რომელსაც შეიცავს სუფთა მონოეთანოლამინი.

მეთოდი თვისობრივად მონოეთანოლამინის ხსნარის მდგომარეობის გაკონტროლების საშუალებას იძლევა .

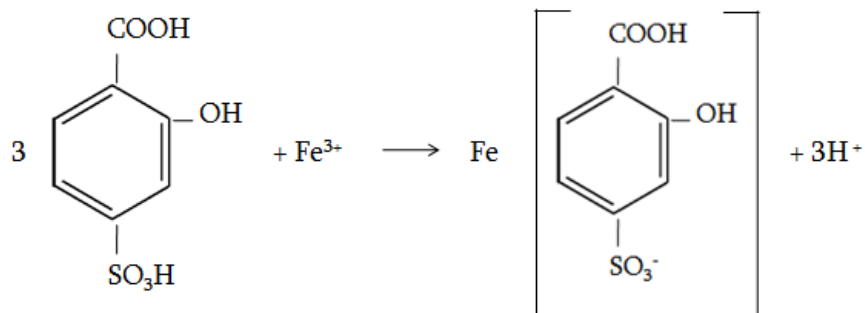
100 სმ³ ტევადობის კონუსურ კოლბაში იღებენ 50 სმ³ საანალიზო მონოეთანოლამინის ხსნარს, უმატებენ 2 სმ³ 0.1 ნ CuSO₄-ის ხსნარს, ურევენ და აკვირდებიან ხსნარის ფერს.

მუქი ლურჯი ფერი - მაჩვენებელია მონოეთანოლამინის ხსნარის კარგ მდგომარეობაზე.

რუხი ლურჯი ან მოცისფრო მწვანე ფერი აჩვენებს დაშლის პროდუქტების არსებობას ხსნარში.

რუხი და მუქი მწვანე ფერი მაჩვენებელია, რომ ხსნარი შეიცავს კოროზიის გამომწვევ პროდუქტებს, რაც აქვეითებს ხსნარის შთანთქმის უნარიანობას [38].

დ) მონოეთანოლამინის ხსნარში რკინის კონცენტრაციის განსაზღვრა ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით: მეთოდი დაფუძნებულია Fe³⁺-იონის სულფოსალიცილის მჟავასთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილი ყვითელი შეფერილობის კომპლექსური ნაერთის ოპტიკური სიმკვრივის ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით განსაზღვრაზე.



საანალიზო სინჯს იღებენ თავდახურულ, ცეცხლგამძლე კოლბაში და აციებენ გარემოს ტემპერატურამდე.

50 სმ³ ტევადობის ფაიფურის ფინჯანში პიპეტით შეაქვთ 2÷10 სმ³ მონოეთანოლამინის ხსნარი (დამოკიდებულია მონოეთანოლამინში რკინის მასურ კონცენტრაციაზე) და აორთქლებენ ელექტროქურაზე ამწოვ კარადაში. აორთქლების შემდეგ ფაიფურის ფინჯანი ნარჩენით გადააქვთ მუფელში და ახდენენ ნარჩენის გამოწვას 800-დან 850°C ტემპერატურამდე, შემდეგ ფინჯანს აციებენ გარემოს ტემპერატურამდე და მიღებულ ნაცარს ხსნიან 5 სმ³ გოგირდმჟავას ხსნარში. ხსნარი რაოდენობრივად გადააქვთ 50 სმ³ ტევადობის მზომ კოლბაში, უმატებენ 6 სმ³ სულფოსალიცილის მჟავას და ამიაკის წყალს, ხსნარის ყვითელ შეფერილობაში გადასვლამდე.

შესადარებელ ხსნარს ამზადებენ ისე, როგორც საკალიბრო მრუდის აგების დროს.

10 წუთის შემდეგ ფოტოკოლორიმეტრზე ზომავენ მიღებული ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს თავისუფალ ხსნართან შედარებით.

მონოეთანოლამინის ხსნარში Fe³⁺-იონის მასური კონცენტრაცია მგ/დმ³ გამოითვლება ფორმულით:

$$C = \frac{M - 1000}{V}$$

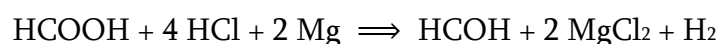
სადაც:

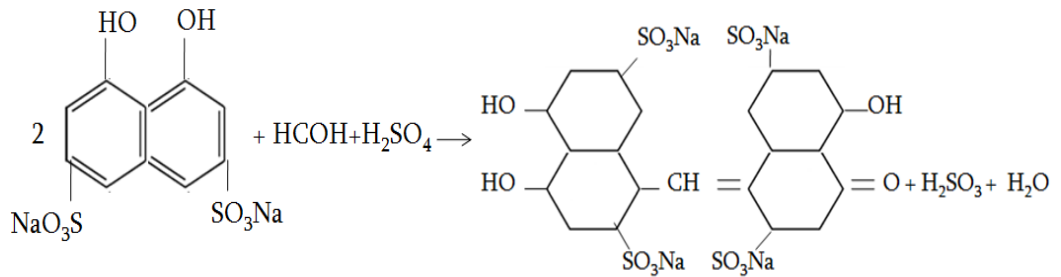
m- საკალიბრო მრუდზე მოძებნილი Fe³⁺ იონის მასა, გ;

v- საანალიზოდ აღებული მონოეთანოლამინის ხსნარის რაოდენობა, სმ³ [38].

ე) მონოეთანოლამინის ხსნარში ჭიანჭველმჟავას მასური კონცენტრაციის განსაზღვრა ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით.

მეთოდი დამყარებულია ჭიანჭველმჟავას წინასწარი აღდგენით მიღებული ფორმალდეჰიდის და ქრომოტროპის მჟავას ნატრიუმის მარილის ურთიერთქმედების შედეგად და მიღებული იისფერ-ვარდისფერი შეფერილობის კომპლექსური ნაერთის შემცველი ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით განსაზღვრაზე.





200 სმ³ ტევადობის მზომ კოლბაში იღებენ 10 სმ³ მონოეთანოლამინის ხსნარს, შეავსებენ ჭდემდე გამოხდილი წყლით და ურევენ. მიღებულ ხსნარს ატარებენ კათიონიტან სვეტში. ფილტრატის პირველ ნაწილს 80-დან 100 სმ³-მდე გადაღვრიან, დანარჩენ ნაწილს აგროვებენ მშრალ კოლბაში ან ჭიქაში. აქედან იღებენ 20 სმ³ ფილტრატს, გადააქვთ მშრალ კოლბაში და 10 წთ-ის განმავლობაში ატარებენ სუფთა აზოტს (2÷3 ბუშტულა/წუთში სიჩქარით) ნახშირის დიოქსიდის გამოსაყოფად.

მშრალ სინჯარაში შეაქვთ 0.05 გ მეტალური მაგნიუმის ფხვნილი და 2 სმ³ ფილტრატი, ათავსებენ გამაციებელ ნარევი (ყინული-წყალი) და უმატებენ 10 წვეთ მარილმჟავას. მეტალური მაგნიუმის სრული გახნის შემდეგ სინჯარას ამოიღებენ გამაციებელი ნარევიდან, ამატებენ 0.5 სმ³ ქრომოტროპის მჟავას ნატრიუმის მარილის ხსნარს, 5 სმ³ კონც. H₂SO₄ -სა და ათავსებენ მდულარე წყლიან ჭიქაში 20 წთ-ის განმავლობაში. შემდეგ სინჯარას აციებენ გარემოს ტემპერატურამდე, ხსნარი რაოდენობრივად გადააქვთ 25 სმ³ ტევადობის მზომ კოლბაში, შეავსებენ ჭდემდე გამოხდილი წყლით და ფოტოკოლორიმეტრზე ზომავენ მიღებული ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს თავისუფალ ხსნართან შედარებით. თავისუფალი ხსნარი მზადდება ისევე, როგორც საკალიბრო მრუდის აგების დროს.

ოპტიკური სიმკვრივის მიხედვით საკალიბრო მრუდზე მოძებნიან შესაბამის ჭიანჭველმჟავას რაოდენობას მგ-ში.

მონოეთანოლამინის ხსნარში ჭიანჭველმჟავას მასური კონცენტრაცია (გ/დმ³) გამოითვლება ფორმულით:

$$C = \frac{m \cdot 200 \cdot 1000}{10 \cdot 2 \cdot 1000} = m \cdot 10$$

სადაც:

m- საკალიბრო მრუდზე მოძებნილი ჭიანჭველმჟავას მასა, გ

10- საანალიზოდ აღებული მონოეთანოლამინის რაოდენობა, სმ³

2- საანალიზოდ აღებული მონოეთანოლამინის ფილტრატის რაოდენობა სმ³-ში [38,39].

1.5. ციანმჟავას წარმოების მოკლე აღწერა

ციანმჟავას წარმოების მეთოდი დაფუძნებულია ჰაერის ჟანგბადით ამიაკის და მეთანის ნარევის არასრულ კატალიზურ დაჟანგვაზე (მეთანის ჟანგვითი ამონოლიზი). რეაქცია მიმდინარეობს პლატინის კატალიზატორზე, რომელზეც გარდაქმნის ხარისხი ამიაკის მიხედვით შეადგენს 60-65%-ს [40].

ციანმჟავას ანდრუსოვის მეთოდი (მეთანის ჟანგვითი ამონოლიზი)

მოიცავს შემდეგ სტადიებს:

- ნედლეულის მომზადება;
- ციანმჟავას სინთეზი;
- კონტაქტური აირების გაციება;
- კონტაქტური აირებიდან ამიაკის აბსორბცია გოგირდმჟავით;
- აირადი ციანმჟავას წყლით აბსორბცია;
- ციანმჟავას წყალხსნარის რექტიფიკაცია.

1.5.1. ნედლეულის მომზადება

ჰაერი-ციანმჟავას სინთეზის სტადიაზე საჭირო ტექნოლოგიური ჰაერის მიწოდება ხდება ატმოსფეროდან ტურბოჰაერმბერების საშუალებით, რომელიც გაივლის ჩარჩოებიან ფილტრს, ფირფიტებიან კალორიფელს, განიცდის კომპრომირებას 1200 მმ.ვწ.სვ წნევამდე, ქაფაირგამწმენდს, სადაც იწმინდება ხენჯისაგან და მექანიკური მინარევებისაგან, შემდეგ იგი ხვდება სახელოსებურ ფილტრში რომელიც წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრულ აპარატს, 37 გამფილტრავი ელემენტით. ფილტრის შემდეგ ჰაერი გაივლის უკუსარქველს და მიეწოდება შემრევს.

ამიაკი - ციანმჟავას სინთეზისათვის საჭირო აირადი ამიაკი 3 კგ/სმ² წნევით შედის შემთბობში. შემთბობის შემდეგ აირადი ამიაკი გაივლის წნევის მარეგულირებელ სარქველს სადაც რედუცირდება 0.28÷0.33 კგ/სმ² წნევამდე და მიეწოდება რესივერში წნევის სტაბილიზაციისათვის. რესივერიდან აირადი ამიაკი გადაეწოდება 37 მფილტრავი ელემენტისაგან შემდგარ ფილტრში. ფილტრის შემდეგ აირადი ამიაკი გაივლის უკუსარქველს და შედის შემრევში.

ბუნებრივი აირი - ბუნებრივი აირი ციანმჟავას წარმოებას მიეწოდება არანაკლებ 8÷11 კგ/სმ² წნევით, დროსელირდება 0.3÷0.35 კგ/სმ² წნევამდე, მიეწოდება რესივერში წნევის დასტაბილურებისათვის, გაივლის ხარჯ-მზომს და რის შემდეგაც შედის ფილტრში ხენჯის, მექანიკური მინარევებისა და ზეთისაგან გაწმენდის მიზნით. ბუნებრივი აირის ფილტრში კონსტრუქციულად ამიაკის ფილტრის ანალოგიურია. ფილტრის გავლის შემდეგ ბუნებრივი აირი მიეწოდება შემრევს [41].

1.5.2. ციანმჟავას სინთეზი

ბუნებრივი აირი, აირადი ამიაკი და ჰაერი გაწმენდის შემდეგ შედის შემრევში. შემრევი წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრულ აპარატს, შიგნით განლაგებული ხუთი თარო ფრთებით, აირების კარგად შერევისათვის. შერევის შემდეგ სამმაგი ნარევი გაივლის ცეცხლგადამღობს, რომელიც აღჭურვილია ორი საფეთქი მემბრანით.

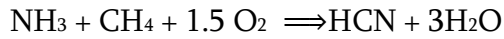
საკონტაქტო აპარატში მიმავალი სამმაგი ნარევის შედგენილობა არის:

ამიაკი - 10.0 -11.0%

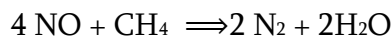
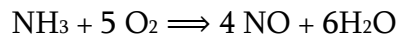
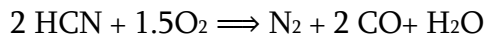
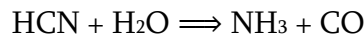
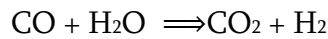
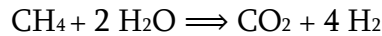
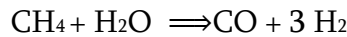
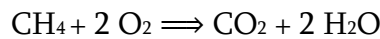
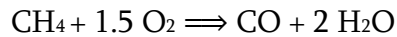
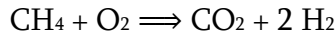
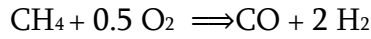
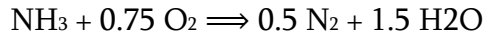
მეთანი - 11.0-12.0%

ჟანგბადი - 15.8–16.0%

ამ შედგენილობის სამმაგი ნარევი მიეწოდება საკონტაქტო აპარატში, სადაც პლატინა-როდიუმის შენადნობის კატალიზატორის ბადეებზე მიმდინარეობს მეთანის ჟანგვითი ამონოლიზის რეაქცია:



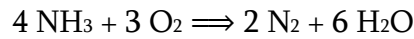
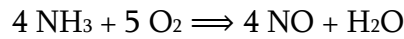
კატალიზატორის ბადეზე გარდა ძირითადი რეაქციისა მიმდინარეობს რიგი თანაური რეაქციები[42]:



საკონტაქტო აპარატი წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინტრულ აპარატს კონუსური სახურავით და ძირით. საკონტაქტო აპარატის ცილინდრული ნაწილი და ქვედა კონუსი აღჭურვილია პერანგით, რომელშიც მოძრაობს მბრუნავი წყალი. იგი იცავს საკონტაქტო აპარატის ქვედა კონუსს გადახურებისაგან. საკონტაქტო აპარატში რეაქცია მიმდინარეობს $840 \div 1050^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე და ± 20 მმ.ვწ.სვ. წნევაზე. ციანმჟავას სინთეზის საკონტაქტო აპარატში საპროექტო მონაცემებისაგან განსხვავებით დღეისათვის ჩაწყობილია 8 ერთეული პლატინა-როდიუმის შენადნობის (Pt:Rh = 90:10) კატალიზატორის ბადე, რომელთა ნაქსოვის ტიპი სივრცულია და სივრცის მთლიანი მოცულობის 60% შევსებულია მავთულით. კატალიზატორის ბადეების შემოტანა ხორციელდება ინგლისური ფირმა “JONSON MATTEY”-დან [43].

კატალიზატორის ბადეები ნიქრომის ბადესთან ერთად ეყრდნობა ცეცხლგამძლე ცხაურს, ზემოდან კი დამაგრებულია ლითონის რგოლით. სა-

კონტაქტო აპარატში ბადეების ანთება წარმოებს ორმაგი - ჰაერ-ამიაკის ნარევით. ამიაკის ჰაერის ჟანგბადთან ურთიერთქმედება მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით [41,44]:



ბადეების “ანთების” შემდეგ ხდება გადასვლა “კონტაქტირებაზე”, რისთვისაც შემრევში ეწოდება აზოტი აფეთქების თავიდან ასაცილებლად.

1.5.3. კონტაქტური აირების გაციება

კონტაქტურ აირებში არსებული ამიაკის შესაბოჭად საჭიროა მისი გაწმენდა სულფატის სკრუბერში. სულფატის სკრუბერამდე კონტაქტური აირები ცივდება ორსაფეხურად ქვაბ-უტილიზატორში და მაცივარში. ქვაბ-უტილიზატორი წარმოადგენს ჰორიზონტალურ თბომცვლელს ორთქლის შემკრებით. ქვაბ-უტილიზატორის დანიშნულებაა კონტაქტური აირების სითბოს უტილიზაცია და ნაჯერი ორთქლის მიღება.

ქვაბ-უტილიზატორში კონტაქტური აირები ცივდება არაუმეტეს 300°C ტემპერატურამდე მკვებავი წყლით, რომელიც შედგება ქიმიურად გაწმენდილი წყლისა და ორთქლის კონდენსატისაგან.

კონტაქტური აირების სითბოს ხარჯზე ქვაბ-უტილიზატორში წარმოიქმნება ორთქლი, რომელიც გამოიყენება ციანმჟავას რექტიფიკაციის სტადიაზე.

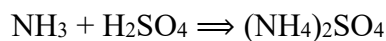
ქვაბ-უტილიზატორიდან გამომავალი არაუმეტეს 300°C ტემპერატურის მქონე კონტაქტური აირები შედის გარსაცმმილოვან მაცივარში, რომელშიც ცივდება მზრუნავი წყლით 98÷102°C ტემპერატურამდე. ტემპერატურის ეს ნიშნული საჭიროა იმისათვის, რომ მაცივარში არ მოხდეს წყლის ორთქლის კონდენსაცია, წყლის ორთქლის კონდენსაციის შემთხვევაში კონ-

დენსატში იხსნება კონტაქტურ აირებში არსებული ციანმჟავა და ამიაკი, რაც იწვევს მილთა სივრცის პოლიმერიზაციას [41].

1.5.4. კონტაქტური აირებიდან ამიაკის აბსორბცია გოგირდმჟავით

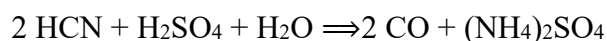
კონტაქტური აირები მაცივრიდან შედის სულფატის სკრუბერის ქვემოთა ნაწილში. სულფატის სკრუბერი წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრულ აპარატს, რომელსაც გააჩნია კერამიკული რგოლების წყობური და აბსორბენტის მისაწოდებელი ერთი ცენტრალური გამანაწილებელი თევში.

სულფატის სკრუბერში კონტაქტურ აირებში არსებული ამიაკის შეკავშირება ხორციელდება გოგირდმჟავათი შემჟავებული წყალხსნარით:



სულფატის სკრუბერში ამონიუმის სულფატის წყალხსნარი ცირკულირებს $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ის 30% კონცენტრაციის მიღწევამდე. ამავე ხსნარში H_2SO_4 -ის შემცველობა 1÷6%-ის ზღვრებში უნდა ცვალებადობდეს. სულფატის სკრუბერიდან გამავალი აირების ტემპერატურა $52\div 56^\circ\text{C}$ უნდა შეადგენდეს, ხოლო მასში ამიაკის ნარჩენი კონცენტრაცია 0.03%-ს (მოც.) არ უნდა აჭარბებდეს.

კონტაქტური აირებიდან ამიაკის გოგირდმჟავური აბსორბციის პროცესის დაბალ ტემპერატურაზე წარმართვისას მიმდინარეობს კონტაქტურ აირებში არსებული HCN -ის გახსნა სულფატის ხსნარში, რაც აუარესებს წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიურ მაჩვენებლებს. მაღალი ტემპერატურის პირობებში გოგირდმჟავა რეაქციაში შედის ციანმჟავასთან შემდეგი რეაქციით:



რეაქცია ჩქარდება გოგირდმჟავას კონცენტრაციის და ტემპერატურის გაზრდისას. მაღალი ტემპერატურის პირობებში ასევე მიმდინარეობს სულფატის ხსნარიდან წყლის აორთქლება, რაც პროცესისათვის არასასურველია. სულფატის სკრუბერის ოპტიმალური ტემპერატურული რეჟიმის 80°C .

ამონიუმის სულფატის ხსნარში $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ის კონცენტრაციის 30%-ზე ზემოთ გაზრდის შემთხვევაში გათვალისწინებული წყლის მიწოდება სკრუბერში ხსნარის განზავებისათვის. ამონიუმის სულფატის ხსნარის კონცენტრაცია და მასში თავისუფალი გოგირდმჟავას შემცველობის საკონტროლო განსაზღვრა ხორციელდება პერიოდულად ქიმიური ანალიზით.

ამონიუმის სულფატის სკრუბერში გარდა ამიაკის შებოჭვისა, ასევე მიმდინარეობს ამონიუმის სულფატის ცირკულირებად ხსნარში HCN-ის გახსნა, რომლის გამოდევნა-გამოქრევაც ხორციელდება დესორბერში მწვავე ორთქლით. განხერილი აირები უბრუნდება სულფატის სკრუბერს.

დესორბერიდან გამომავალი ამონიუმის სულფატის ხსნარი თვითდინებით მიეწოდება მაცივარს, რომელშიც ცივდება მზრუნავი წყლით. გაცივების შემდეგ ამონიუმის სულფატის ხსნარი ჩაედინება შემკრებში, საიდანაც მიეწოდება ამონიუმის სულფატის საამქროს აორთქლება-კრისტალიზაციისათვის [41].

1.5.5. აირადი ციანმჟავას წყლით აბსორბცია

ამონიუმის სულფატის სკრუბერიდან გამომავალი კონტაქტური აირი, რომელშიც ამიაკის შემცველობა არაუმეტეს 0.03%-ია მოცულობით, შედის გარსაცმმილოვან ორსვლიან თბომცვლელში, სადაც ცივდება $40 \div 42^\circ\text{C}$ ტემპერატურამდე.

თბომცვლელიდან გამომავალი კონტაქტური აირი გადის ჰორიზონტალურ ორსვლიან გარსაცმმილოვან მაცივარს, სადაც დამატებით ცივდება $17 \div 19^\circ\text{C}$ ტემპერატურამდე ნულოვანი მარილხსნარით.

მაცივრიდან გამომავალი კონტაქტური აირები მიეწოდება სკრუბერების კასკადს, რომელთაგანაც აირების სვლის მიხედვით პირველი ფორსკრუბერია, მეორე კი სკრუბერი.

ფორსკრუბერი და სკრუბერი წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრულ აპარატს მოსახსნელი სახურავით. აპარატს გაჩნია კუბური და წყობურიანი ნაწილი.

გაცივებული კონტაქტური აირები ფორსკრუბერს მიეწოდება ქვემო-დან, წყობურიანი ნაწილის ქვეშ, ხოლო აბსორბენტის მიწოდება ხდება ზე-მოდან. სკრუბერს ციანმჟავას აბსორბციისათვის მიეწოდება სარექტიფიკაციო კოლონიდან გამომავალი გაცივებული კუბური სითხე შუალედური შემკრებიდან. კუბური სითხე შემკრებიდან გაივლის მაცივარს და მიეწოდება სკრუბერის მორწყვაზე, ხოლო სკრუბერის გავლის შემდეგ სკრუბერის სითხე ციანმჟავას მასური წილით არაუმეტეს 1% ცივდება და გადაეწოდება ფორსკრუბერის მორწყვაზე.

ფორსკრუბერში მიმდინარეობს კონტაქტური აირებიდან ციანმჟავას აბსორბცია სკრუბერის სითხით. ფორსკრუბერის კუბურ ნაწილში ჩამოედინება ფორსკრუბერის სითხე, რომელშიც ციანმჟავას შემცველობა არაუმეტეს 2.5%-ია.

ფორსკრუბერის სითხე მიეწოდება თბომცვლელს, რომელშიც მიმდინარეობს თბოცვლა ფორსკრუბერის სითხესა და კონტაქტურ აირს შორის, რის ხარჯზეც კონტაქტური აირები ცივდება, ხოლო ფორსკრუბერის სითხე ცხელდება და მიემართება რექტიფიკაციისათვის.

1.5.6. ციანმჟავას წყალხსნარის რექტიფიკაცია, პროდუქციული ციანმჟავას მიღება

ფორსკრუბერის სითხე სარექტიფიკაციო კოლონაში შესვლამდე თბება ორსაფეხურებრივად $78 \div 82^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე.

გაცხელებული ფორსკრუბერის სითხე შედის სარექტიფიკაციო სვეტის მეცამეტე თეფშზე.

სარექტიფიკაციო სვეტი წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრულ აპარატს მოსახსნელი სახურავით. სვეტს აქვს 26 თეფში კაფსულიანი ხუფებით.

სვეტი შედგება ორი ნაწილისაგან: ქვედა-ამომწურავი და ზედა- გამმაგრებელი. სარექტიფიკაციო სვეტს აქვს გამოტანილი თბომცველი.

ორთქლი ქვემოდან ზემოთ მოძრაობისას კარგავს ძნელად აქროლად კომპონენტებს და მდიდრდება ადვილად აქროლადი კომპონენტებით, ხოლო ძნელად აქროლადი კომპონენტები ჩამოედინება სითხის სახით ზემოდან ქვემოთ.

სარექტიფიკაციო სვეტიდან ციანმჟავას ორთქლი შედის დეფლევმატორის მილთა სივრცეში, სადაც ცივდება $26\pm 29^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე $4\pm 6^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის მქონე ნულოვანი მარილხსნარით. ამ დროს ხდება მისი კონდენსაცია.

დაკონდენსირებული და დაუკონდენსირებელი ციანმჟავა შედის აბშიდერში ფაზათა გასაყოფად. თხევადი ფაზა ფლეგმის სახით მიეწოდება სარექტიფიკაციო სვეტის ზედა თეფშს მოსარწყავად, დაუკონდენსირებელი ციანმჟავას ორთქლი გაივლის ორ მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორში, სადაც ციანმჟავა კონდენსირდება $4-5^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის მქონე მინუსოვანი მარილხსნარით.

დაკონდენსირებული ციანმჟავას ძირითადი ნაწილი მიემართება თვითდინებით შემკრებში, ხოლო ნაწილის მიწოდება ხდება ფლეგმასთან ერთად სარექტიფიკაციო სვეტის ზედა თეფშზე ტემპერატურული რეჟიმის დასარეგულირებლად.

1.6. კონტაქტური აირებიდან HCN-ის აბსორბცია-რექტიფიკაციის კვანძის განხილვა

კონტაქტური აირები ამიაკის მასური წილით არაუმეტეს 0.03%, $52-56^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურით და 15-25 მმ.ვწყ.სვ წნევათა სხვაობით, სულფატის სკრუბერიდან მიეწოდება ჰორიზონტალურ, გარსაცმმილოვან, ორსვლიან თბომცველს, სადაც ცივდება ფორსკრუბერიდან გამოყვანილი სითხით 38-

42°C ტემპერატურამდე. თბომცვლელის გამოსასვლელში გაიშვიათება უნდა იყოს ა/ნ 70 მმ.ვწყ.სვ.

გაცივებული კონტაქტური აირები 38-42°C ტემპერატურით გადიან ჰორიზონტალურ ორსვლიან გარსაცმმილოვან მაცივარს, სადაც დამატებით ცივდება 9-11°C-მდე გამაცივებელი წყლით.

მაცივრიდან გაცივებული კონტაქტური აირები მიეწოდება ფორსკრუბერს ქვედა ნაწილში, სადაც ხდება ციანმჟავას აბსორბცია.

ფორსკრუბერი წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრულ აპარატს. აპარატში ჩალაგებულია კერამიკული რგოლები. აბსორბენტის მისაწოდებელი მოსარწყავი მოწყობილობა წარმოადგენს გამანაწილებელ თეფშს.

კონტაქტური აირები ფორსკრუბერიდან ა/ნ 110 მმ.ვწყ.სვ გაიშვიათებით მიეწოდება სკრუბერს, რომელიც ფორსკრუბერის ანალოგიურია. აბსორბციული აირები ფორსკრუბერიდან ა/ნ 110-120 მმ.ვწყ.სვ მიეწოდება ტურბოექსგაუსტერს და გაიტყორცნება ატმოსფეროში 60 მ სიმაღლის გამტყორცნი მილით, რომელშიც მჟავის მასური წილი შეადგენს ა/უ 0.6 მგ/ლ-ს.

ფორსკრუბერსა და სკრუბერში კონტაქტური აირებიდან ციანმჟავას ორთქლის დაჭერა ხდება შესაბამისად ფორსკრუბერის კუბური სითხისა და სკრუბერის სითხის მეშვეობით.

ფორსკრუბერის კუბური სითხე ტუმბოს მეშვეობით 4-6 კგ/სმ² წნევით მიეწოდება თბომცვლელის მილთა შორის სივრცეში. ფორსკრუბერში კუბური სითხე თბება მილებში სულფატის სკრუბერიდან გამომავალი კონტაქტური აირების გაციების ხარჯზე გაივლის თბომცვლელის მილთა შორის სივრცეში, სადაც დამატებით თბება მილებში მოძრავი სარექტიფიკაციო კოლონიდან გამომავალი კუბური სითხის ხარჯზე და მიეწოდება სარექტიფიკაციო სვეტის მე-13-ე თეფშს.

თბომცვლელის დანიშნულებაა ფორსკრუბერის სითხის გათბობა სვეტიდან გამომავალი კუბური სითხის სითბოს ხარჯზე.

სარექტიფიკაციო კოლონიდან გამომავალი კუბური სითხე 98-102°C ტემპერატურით გაივლის თორმეტელემენტის თბომცვლელს. თბომცვლელიდან კუბური სითხე ისხმება შუალედურ შემკრებში.

სარექტიფიკაციო კოლონიდან გამომავალი კუბური სითხის ქიმიური მონაცემებია:

- HCN-ის მასური წილი ა/უ - 0.02%;
- ძმარმჟავა- 0.3-0.5%;

შემკრებიდან კუბური სითხე გაივლის მაცივარს, სადაც ცივდება ნულოვანი მარილხსნარით და ხვდება ტუმბოს შეწოვის ხაზზე.

კუბური სითხე ტუმბოთი მიეწოდება ჰორიზონტალურ გარსაცმშილოვან მაცივარს, სადაც ცივდება ნულოვანი მარილწყალხსნარით 2-3°C ტემპერატურამდე.

სკრუბერიდან ტუმბოთი 4-6 კგ/სმ³ წნევით ჭარბი ხსნარი ეწოდება გარსაცმშილოვან ექსელემენტის მაცივარს, სადაც ცივდება 2-3°C ტემპერატურამდე ნულოვანი მარილხსნარით. HCN-ის მასური წილი არ უნდა აღემატებოდეს 1%-ს.

მაცივრის გავლით ხსნარი შედის ფორსკრუბერში მოსარწყავად. საიდანაც ტუმბოთი ციანმჟავას მასური წილით ა/უ 2.5% მიეწოდება თბომცვლელს.

თბომცვლელიდან ფორსკრუბერის სითხე შედის თბომცვლელის მილთაშორის სივრცეში, სადაც ცხელდება 78-82°C ტემპერატურამდე სარექტიფიკაციო კოლონიდან მილებში გამომავალი კუბური სითხის სითბოს ხარჯზე. ამრიგად ხდება სისტემაში ფორსკრუბერული სითხის ცირკულაცია, მასში ციანმჟავას კონცენტრაციის ა/უ 2.5% გაზრდის მიზნით.

შემთბარი ფორსკრუბერის სითხე 78-82°C ტემპერატურით თბომცვლელიდან შედის სარექტიფიკაციო სვეტის მე-13 თეფშზე.

სარექტიფიკაციო სვეტი წარმოადგენს ვერტიკალურ, ცილინდრულ აპარატს. სვეტს აქვს 26 თეფში კაფსულიანი ხუფებით. სვეტი შედგება ორი ნაწილისაგან: ქვედა-ამომწურავი, ზედა-გამმაგრებელი. სვეტს აქვს გამოტა-

ნილი თბომცვლელი-მადულარა, სადაც ხსნარის გასაცხელებლად მიეწოდება ორთქლი.

სარექტიფიკაციო სვერის ზედა ნაწილს მე-3 თეფშზე იჭერენ გაიშვითებას 5.3-8.0 კპა, ტემპერატურა 24-28°C. მე-3 თეფშზე ტემპერატურის დაჭერა ხდება ფლეგმის ავტომატური მიწოდებით და კონდენსატორიდან მარეგულირებელი სარქველის მეშვეობით მოგროვებული ციანმჟავას მიწოდებით.

ორთქლი მოძრაობის დროს სარექტიფიკაციო სვეტის ქვედა ნაწილიდან ზემოთ ხდება ორთქლის გამდიდრება ადვილად აქროლადი კომპონენტებით, ხოლო სითხის მოძრაობის შედეგად სვეტის ზედა ნაწილიდან ქვემოთ ხდება სითხის გამდიდრება ძნელად აქროლადი კომპონენტებით.

ციანმჟავას პოლიმერიზაციის თავიდან აცილების მიზნით სვეტის ზედა ნაწილში დამწნევი ავზიდან ხელის ვენტილის საშუალებით მიეწოდება ძმარმჟავა, რომლის რაოდენობა შეესაბამება pH=4 მნიშვნელობას, დამწნევიში ძმარმჟავა ეწოდება ნედლეულის საწყობიდან.

ციანმჟავას ორთქლი სარექტიფიკაციო სვეტიდან შედის დეფლეგმატორის მილთა სივრცეში, სადაც ცივდება ნულოვანი მარილხსნარით. ტემპერატურა 24-28°C. დეფლეგმატორში შემავალი ნულოვანი მარილხსნარის ტემპერატურა 0-2°C, ხოლო დაბრუნებულის შეადგენს 3-5°C.

ციანმჟავას დაუკონდენსირებელი ორთქლი დეფლეგმატორიდან შედის აბზაიდერში ფაზათა გასაყოფად, საიდანაც ფლეგმის სახით გამოყოფილი ციანმჟავა მიდის სარექტიფიკაციო სვეტის ზედა ნაწილის მოსარწყავად, ხოლო ციანმჟავას ორთქლი გაივლის მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორების და აბზაიდერების მილებს, სადაც დაკონდენსირებული ციანმჟავა ცივდება მინუსოვანი მარილხსნარით 2-3°C ტემპერატურამდე.

აბზაიდერებიდან გამოყოფილი ციანმჟავა, რომელიც უკვე საბოლოო პროდუქტია, გროვდება მზა პროდუქტის საწყობის ავზში. მზა პროდუქტში:

- ციანმჟავას მასური წილი ა/ნ 98%;
- ძმარმჟავა- 0.3-0.5%.

შემკვრებში ხდება მინუსოვანი მარილხსნარით ციანმჟავას ტემპერატურის შენარჩუნება 2-3°C ფარგლებში[41,45].

1.7. ციანმჟავას წარმოების ანალიზური კონტროლის მეთოდების მიმოხილვა

ციანმჟავას წარმოებაში ტექნოლოგიური პროცესის კონტროლის პარალელურად ხორციელდება ანალიზური კონტროლი: ქრომატოგრაფიული, ტიტრიმეტრული, შთანთქმის, წვის, იოდომეტრული, პოტენციომეტრული, კონდუქტომეტრული, ფოტოკოლორიმეტრული, მერკურომეტრული მეთოდებით.

ბუნებრივი აირის განსაზღვრა ქრომატოგრაფიაზე „NEOChrom“: ციანმჟავას წარმოების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნედლეულის ბუნებრივი აირის შედგენილობა ისაზღვრება ლაბორატორიულ ქრომატოგრაფზე „NEOChrom“.

აირმატარებლად გამოყენებულია ჰელიუმი. ადსორბციისთვის გამოყენებულია ორი სორბენტი: სითბოს გამტარებლობის და ალის იონიზაციური. ქრომატოგრაფი ასევე აღჭურვილია წყალბადის გენერატორით, რომელიც საჭიროა ალის იონიზაციური დეტექტორისათვის.

სითბოს გამტარებლობის დეტექტორზე გამოიტანება აზოტის, მეთანის და ნახშირორჟანგის პიკები, ხოლო ალის იონიზაციურ დეტექტორზე - მეთანის ჰომოლოგები ეთანთან დაანჟანგის ჩათვლით [46].

სამმაგი ნარევის განსაზღვრა „NEOChrom“ ფირმის ქრომატოგრაფზე:

საკონტაქტო აპარატზე მიმავალი სამმაგი ნარევის კომპონენტების ანალიზი სრულდება უკრაინული ფირმის „NEOChrom“-ის ქრომატოგრაფზე, რომელშიც აირმატარებლად გამოყენებულია არგონი.

მეთოდის არსი დამყარებულია აირების ნარევის კომპონენტების დაყოფაზე ქრომატოგრაფიულ სვეტში მოთავსებულ სორბენტზე. დაყოფილი კომპონენტები გამოდის ქრომატოგრაფიული სვეტიდან ბინალური ნარევის სახით (კომპონენტი-აირმატარებელი) და ისაზღვრება თბოგამტარებლობის

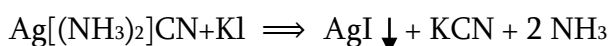
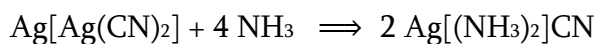
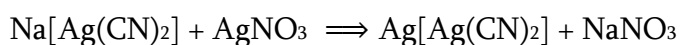
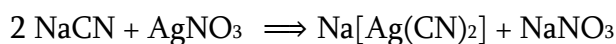
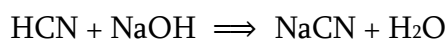
დეტექტორით, რომლის სიგნალი ძლიერდება და გამოიწერება შესაბამისი პიკის სახით კომპიუტერის ეკრანზე.

პიკები გამოიწერება შემდეგი თანმიმდევრობით: 1. ჰაერი, 2. მეთანი, 3. ამიაკი. გამოწერის ხანგრძლივობა 3 წუთი.

პიკების გამოწერის შემდეგ საჭიროა პიკების ფუძეების მონიშვნა. ფუძეების მონიშვნის შემდეგ ვირჩევთ შესაბამის გრაფაში „Air”, „CH₄”, „NH₃”. სამმაგი ნარევის ქრომატოგრაფიული ანალიზის დასრულების შემდეგ ინახვენ მონაცემებს.

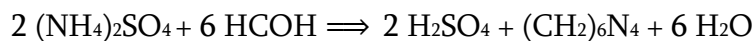
სამმაგი ნარევის განსაზღვრის მეთოდის დასრულებული იქნა „NEO-Chrom“-ის და „რუსთავის აზოტის“ სპეციალისტების მიერ.

ტიტრიმეტრული - არგენტონომეტრული ტიტრაციის ინდიკატორ KI + NH₄OH თანაობისას მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციები [47]:

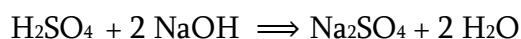


ამონიუმის სულფატის ხსნარში ამონიუმის სულფატის განსაზღვრა:

ამონიუმის სულფატის ხსნარში (NH₄)₂SO₄-ის შემცველობას საზღვრავენ ფორმალინის მეთოდით. ამონიუმის სულფატის და ფორმალინის ურთიერთქმედების შედეგად ხსნარში გამოიყოფა მჟავა:



გამოყოფილი მჟავას ნეიტრალიზაცია მიმდინარეობს 0.5 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარით:



გ) შთანთქმის მეთოდით- სამმაგ ნარევი O_2 -ის კონცენტრაციის განსაზღვრა; ჰაერში O_2 -ის და CO_2 -ის განსაზღვრა; ბუნებრივ აირში CO_2 -ის განსაზღვრა;

დ) წვის მეთოდით- წყალბადის, CO -ს, ნახშირწყალბადების განსაზღვრა;

ე) იოდომეტრული - ბუნებრივ აირში H_2S -ის და RSH -ის განსაზღვრა; ბუნებრივ აირში ორგანული გოგირდის განსაზღვრა.

ტექნოლოგიურ ჰაერში HCN -ის განსაზღვრის ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდი: ციანმჟავას ურთიერთქმედებით ქლორამინ T-სა და პირიდინ-ბარბიტურის რეაქტივთან, წარმოიქმნება პოლიმეთინის საღებავი. ხსნარის შეფერილობის ინტენსივობით განისაზღვრება ციანმჟავას მასური წილი.

მეთოდი რეკომენდირებულია ერთჯერადი კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის.

განსაზღვრის მგრძობელობა 0.1 მკგ. საანალიზო სინჯის მოცულობაში გასაზომი კონცენტრაციის დიაპაზონია 0.012–0.24 მგ/მ³ 10 ლ ჰაერის სინჯის აღებისას [44].

NH_4^+ -ის განსაზღვრა კუბურ ხსნარში: ამიაკი და ამონიუმის მარილები ნესლერის რეაქტივთან წარმოქმნიან კომპლექსურ ნაერთებს. თუ ხსნარში ამიაკი და ამონიუმის მარილები დაბალი შემცველობითაა ხსნარი იფერება ყვითლად, ხოლო მაღალი შემცველობისას წარმოიქმნება მურა-წითელი ფერის ნალექი [48].

მერკურომეტრული მეთოდით - ჩამდინარე, ქვაბის და მბრუნავ წყლებში ქლორიდების განსაზღვრა: ვერცხლისწყლის ქლორიდის დაბალი დისოციაციის ხარისხი იძლევა საშუალებას ზუსტად განისაზღვროს ვერცხლისწყლის ნიტრატით ტიტრაციისას კონდენსატში Cl^- -იონების შემცველობა, ინდიკატორ დიფენილკარბაზონის თანაობისას, რომელიც ვერცხლისწყლის ჭარბ იონებთან წარმოქმნის იისფერ ნაერთს. ტიტრაცია ხორციელდება $pH=2.5\pm 0.1$. მერკურომეტრული მეთოდის მგრძობელობაა 0.2 მგ/დმ³.

პოტენციომეტრული მეთოდით - კუბის წყალში NH_4^+ - იონის განსაზღვრა;

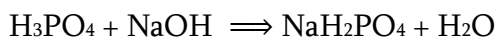
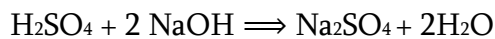
კონდუქტომეტრული მეთოდით - ქვაბის, ჩამდინარე და მზრუნავ წყლებში მარილშემცველობის განსაზღვრა.

1.8. ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აბსორბენტის ანალიზის მეთოდები

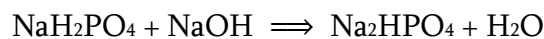
ა) ფოსფორმჟავა-გოგირდმჟავის განსაზღვრა ხსნარში ერთობლივი არსებობის პირობებში

მრავალფუძიან მჟავებს ტუტით გატიტვისას გააჩნია ექვივალენტობის რამდენიმე წერტილი. ფოსფორმჟავას გატიტვრა სრულ ნეიტრალიზაციამდე თითქმის შეუძლებელია. მეთილნარინჯის თანაობისას ფოსფორმჟავა იტიტრება როგორც ერთფუძიანი მჟავა და ექვივალენტობის წერტილი მიიღწევა, როცა $pH=4.5$. ხოლო ფენოლფტალეინის თანაობისას იტიტრება როგორც ორფუძიანი მჟავა და ექვივალენტობის წერტილი აქვს $pH=6.0$ -ზე.

ფოსფორმჟავა გოგირდმჟავას ნარევის ანალიზი ემყარება მჟავათა ნარევის ტუტით გატიტვრას, ერთდროულად ორივე ინდიკატორის გამოყენებით. მეთილნარინჯის თანაობისას ტუტით იტიტრება გოგირდმჟავას ორივე და ფოსფორმჟავას ერთი წყალბადიონი.



ფენოლფტალეინის თანაობისას იტიტრება ფოსფორმჟავას მეორე წყალბადიონი:



ზემოთ აღნიშნული რეაქციების თანახმად ფენოლფტალეინის თანაობით ნატრიუმის ტუტის ხსნარით გატიტვისას შეიძლება განისაზღვროს ფოსფორმჟავას შემცველობა მჟავათა ნარევიში, ხოლო მეთილნარინჯის თანაობისას ფოსფორმჟავას და გოგირდმჟავას შემცველობის ჯამი. პირველ და მეორე გატიტვრას შორის სხვაობა იძლევა გოგირდმჟავას რაოდენობას.

ანალიზურ სასწორზე 0.0002 გ სიზუსტით წონიან 2 გ საანალიზო ნიმუშს ბიუქსის გამოყენებით. სინჯი გადააქვთ 250 სმ³ მოცულობის საზომ კოლბაში, რომელშიც წინასწარ ჩახსმულია 50-100 სმ³ გამობდილი წყალი. კოლბას შეავსებენ ჭდემდე და კარგად შეანჯღრევენ. მიღებული ხსნარიდან პიპეტით იღებენ 25 სმ³-ს და გადააქვთ სატიტრავ კოლბაში, უმატებენ 2-3 წვეთ ინდიკატორ მეთილნარინჯს და ტიტრავენ 0.1N-ის ნატრიუმის ტუტით ყვითელი ფერის მიღებამდე. შემდეგ იმავე ხსნარში უმატებენ ფენოლფტალეინს და აგრძელებენ გატიტვრას ღია ვარდიფერი შეფერილობის წარმოქმნამდე.

ნარევში H₃PO₄ და H₂SO₄ შემცველობას ანგარიშობენ შემდეგნაირად:

$$\% \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{(V-V_1) \cdot K \cdot 0.0049 \cdot 250 \cdot 100}{m \cdot 25}$$

$$\% \text{H}_3\text{PO}_4 = \frac{V_1 \cdot K \cdot 0.0098 \cdot 250 \cdot 100}{m \cdot 25}$$

სადაც:

V - მეთილნარინჯის თანაობით გატიტვრისას დახარჯული 0.1 N ნატრიუმის ტუტის რაოდენობა, სმ³;

K - 0.1 N ნატრიუმის ტუტის შესწორების კოეფიციენტი;

V₁ - ფენოლფტალეინის თანაობით გატიტვრისას დახარჯული 0.1 N ნატრიუმის ტუტის რაოდენობა, სმ³;

m - საანალიზოდ აღებული მჟავების ნარევის წონა, გ;

0.0049 - H₂SO₄-ის რაოდენობა, გ, რომელიც შეესაბამება ზუსტად 1 სმ³ 0.1 N ნატრიუმის ტუტეს;

0.0098 - H₃PO₄-ის რაოდენობა, გ, რომელიც შეესაბამება ზუსტად 1 სმ³ 0.1 N ნატრიუმის ტუტეს;

250 - მზომი კოლბის მოცულობა, სმ³;

25 - აღებული სინჯის რაოდენობა, სმ³.

2. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები და მათი განსჯა

როგორც ლიტერატურული მონაცემების მიმოხილვის თავში აღვნიშნეთ სს „რუსთავის აზოტის“ ორ ტექნოლოგიურ წარმოებაში, კერძოდ ამიაკსა და ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აბსორბენტები შეიცვალა უფრო ეფექტური და ასევე მაღალტექნოლოგიური აქტივირებული აბსორბენტებით. ამიაკის წარმოებაში კონვერტირებული აირის ნახშირორჟანგისაგან გასაწმენდად გამოყენებული იყო მონოეთანოლამინი, რომელიც შეიცვალა პიპერაზინით აქტივირებული მეთილდიეთანოლამინით, ხოლო ციანმჟავას წარმოებაში ნაცვლად ადრე გამოყენებული ორთოფოსფორმჟავით აქტივირებული აბსორბენტისა, დაინერგა ძმარმჟავით აქტივირებული აბსორბენტი. აღნიშნულმა ცვლილებებმა გამოიწვია ახლადდანიერგილი აბსორბენტების ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავების აუცილებლობა, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელი გახდებოდა როგორც წარმოებაში შემოტანილი ნედლეულის, ასევე ტექნოლოგიურ პროცესში მათი შედგენილობის კონტროლი.

2.1. კონვერტირებული აირის CO₂-საგან გასაწმენდად გამოყენებული აბსორბენტების დახასიათება

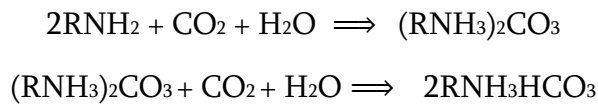
2.1.1. მონოეთანოლამინი

მონოეთანოლამინი HOCH₂CH₂NH₂ წარმოდგენს ორგანულ, უფერო, ბლანტ, ჰიგროსკოპულ ნივთიერებას, დამახასიათებელი ამიაკის სუსტი სუნით. მისი დუღილის ტემპერატურაა 170°C, ლღობის ტემპერატურა 10.3°C, ფეთქებადია 85°C ტემპერატურაზე, ხოლო 450°C-ზე აღდება. ჰაერთან წარმოქმნის ფეთქებადსაშიშ ნარევს. წყალს ერევა ნებისმიერი თანაფარდობით, კარგად იხსნება ეთანოლში, ბენზოლში, ქლოროფორმში და სხვა[49].

მონოეთანოლამინი მიეკუთვნება მომწამვლელი ნივთიერებების კლასს, იწვევს კანის, საცრემლე ჯირკვლების, სასუნთქი გზების და საჭმლის მომნელებელი სისტემის გაღიზიანებას. სამუშაო ზონაში მისი ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია 0.5 მგ/მ³ [50].

მონოეთანოლამინი მიიღება ამიაკის, ან ამიაკის წყალხსნარის ურთიერთქმედებით ეთილენის ოქსიდთან. იგი გამოიყენება ემულგატორებად და ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებად [51].

ურთიერთქმედებს ძლიერ ორგანულ და არაორგანულ მჟავებთან მარილების წარმოქმნით. რეაქციაში შედის კარბონმჟავებთან, მათ ანჰიდრიდებთან და ქლორანჰიდრიდებთან, რთულ ეთერებთან, კეტონებთან, გოგირდწყალბადთან, შარდოვანასთან და ზოგიერთ ორგანულ ნივთიერებებთან. გამოიყენება ქიმიურ წარმოებებში სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესებში მჟავა-აირებისაგან გაწმენდის მიზნით. კერძოდ, ამიაკის სინთეზის წარმოებაში ტექნოლოგიური აირების ნახშირორჟანგისაგან გასაწმენდად, შემდეგი რეაქციის საფუძველზე [52,53]:



კოსმეტიკურ წარმოებაში და საყოფაცხოვრებო ქიმიის პროდუქტებში გამოიყენება, როგორც ბუფერული აგენტი (pH-ის მარეგულირებელი), გამოიყენება ტექსტილის, საწმენდი საშუალებების, ლაქ-საღებავების, წებოს, მელნის და პლასტმასების წარმოებაში [54].

ადრეულ პერიოდში აირების ნახშირორჟანგისაგან გაწმენდის მიზნით გამოიყენებოდა ისეთი სორბენტები, როგორცაა ნატრონ-კირი, ლითიუმის ჰიდროქსიდი და სხვა, მოგვიანებით არსებული სორბენტები ჩანაცვლდა მონოეთანოლამინით, რომელსაც გააჩნდა უპირატესობა-რეგენერაციის უნარი [55].

მონოეთანოლამინი ინახება ჰერმეტიკულად დახურულ კასრებში ღია, ან დახურულ საწყობებში, გამაცხელებელი მოწყობილობებისაგან შორს-40-დან +50°C ტემპერატურათა ინტერვალში [56].

2.1.2. მეთილდიეთანოლამინი

მეთილდიეთანოლამინი ჰიგროსკოპული თხევადი, უფერო ნივთიერებაა დამახასიათებელი სპეციფიური სუნით. მისი ქიმიური ფორმულაა $C_5H_{13}NO_2$. მისი დნობის ტემპერატურაა- $21^{\circ}C$, დუღილის- $247.1^{\circ}C$, აფეთქების- $127^{\circ}C$, თვითაალების ტემპერატურა- $410^{\circ}C$. ჰაერთან ფეთქებადობის ზღვრებია 1.4–8.8 %. სიმკვრივე $20^{\circ}C$ ტემპერატურაზე $1.038–1.046$ გ/სმ³ [57].

კარგად იხსნება წყალში, სპირტებში, აქვს სუსტი ტუტე თვისებები. მეთილდიეთანოლამინი მიიღება უწყლო მონომეთილამინის ოქსიეთილირებით. მსოფლიო პრაქტიკაში იგი გამოიყენება სინთეზური ბოჭკოების, მათ შორის ნეილონის წარმოებაში [58].

მეთილდიეთანოლამინი მიეკუთვნება მომწამვლელი ნივთიერებების კლასს, იწვევს კანის მსუბუქ გაღიზიანებას, ალერგიულ რეაქციებს და სასუნთქი გზების დაზიანებას. ითვლება, რომ უარყოფითად მოქმედებს ნაყოფიერებაზე [59]. სამუშაო ზონაში მისი ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია 5 მგ/მ³ [60].

მეთილდიეთანოლამინს გააჩნია ნაჯერი ორთქლის დაბალი წნევა, მაღალი მდგრადობა და მინიმალური კოროზიული აქტივობა. თანამედროვე მრეწველობაში იგი გამოიყენება ტექნოლოგიური აირებიდან გოგირდწყალბადის, ნახშირორჟანგის და სხვა მჟავური ბუნების აირების შთანთქმისათვის. 2014 წელს გამოქვეყნებული ნაშრომის მიხედვით შესწავლილი იქნა მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის აბსორბციის უნარი აზოტის ოქსიდების (NO და NO_2) შთანთქმის მიმართ [61,62].

მეთილდიეთანოლამინი ხასიათდება ფარდობითი მაღალი სელექტიურობით გოგირდწყალბადის მიმართ, H_2S -ის და CO_2 -ის ერთობლივი არსებობისას, რაც აიხსნება მესამეული ამინების დაბალი უნარით წარმოქმნას კარბონატები [63].

2.1.3. პიპერაზინი

პიპერაზინი უფერო, მყარი ჰიგროსკოპული კრისტალური ნივთიერებაა, რომელიც ხასიათდება ამინების სუნით, კარგად იხსნება წყალში და გლიცერინში, ცუდად-ეთანოლში. მას გააჩნია მეორადი ალიფატური ამინების თვისებები.

მოლეკულური ფორმულა $C_4H_{10}N_2$. ლღობის ტემპერატურა $112^{\circ}C$, დუღილის ტემპერატურა- $146^{\circ}C$. შედის ალკილირების, ნიტრირების, ქლორირების რეაქციაში. პიპერაზინის წყალხსნარები ურთიერთქმედებენ მჟავებთან პიპერაზინის მარილების წარმოქმნით [64,65].

პიპერაზინი მიიღება ეთილენდიამინის ურთიერთქმედებით პოლიეთილენპოლიამინთან $175-200^{\circ}C$ ტემპერატურაზე კატალიზატორის თანაობისას [66].

პიპერაზინი ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში, ფარმაცოლოგიაში. მისი წარმოებულები მოქმედებენ მთავარ ან შუალედურ პროდუქტებად შემდეგ ინდუსტრიაში: კოსმეტიკური საშუალებების, ნავთობისა და გაზის წარმოება-დამუშავებაში, ლაქ-საღებავების, სატრანსპორტო აღჭურვილობის წარმოებაში, შუამავალი ნივთიერებების, კატალიზატორების, ეპოქსიდური გამკვრივების წარმოებისთვის, პლასტმასის, პესტიციდების, სამუხრუჭე სითხის, ფისების წარმოებაში.

პიპერაზინს აქვს ნარკოტიკული ეფექტი. ის იწვევს მეტყველების დარღვევას, განწყობის ცვლილებას, ვიზუალურ, აუდიტორულ ჰალუცინაციებს, გულისცემის მომატებას და სხვა [67].

პიპერაზინი წვადი ნივთიერებაა, ხანძრის დროს გამოყოფს ტოქსიკურ აირებს. $65^{\circ}C$ -ზე მაღალ ტემპერატურაზე ჰაერთან შეუძლია წარმოქმნას ფეთქებადსაშიში ნარევი (4–14%) [68].

2.2. მონოეთანოლამინის გამოყენების უარყოფითი მხარეები

კონვერტირებული აირის ნახშირორჟანგისაგან გაწმენდის მიზანი არის ამიაკის სინთეზის კატალიზატორის დაცვა მოწამვლისა და დეაქტივაციისაგან. ამიაკის სინთეზის კატალიზატორი წარმოადგენს აქტიურ რკინას, რომლის საწამლავს წარმოადგენს ნახშირორჟანგი, ამიტომ კონვერტირებული აირის გაწმენდა CO₂-გან აუცილებელია.

კონვერტირებული აირის გაწმენდა წლების წინ ხორციელდებოდა მონოეთანოლამინით. მოგვიანებით მონოეთანოლამინი ჩანაცვლებული იქნა უფრო ეფექტური აქტივირებული სორბენტი- მეთილდიეთანოლამინით, რომელიც არის არაკოროზიული, არ განიცდის დეგრადაციას, აბსორბციისათვის გამოიყენება კონცენტრირებული ხსნარები, არის ენერგეტიკულად მომგებიანი. მონოეთანოლამინს გააჩნია რამოდენიმე უარყოფითი ტექნოლოგიური თვისება, კერძოდ, ის არის კოროზიული, ნახშირორჟანგის მიმართ ნაკლებად ტევადი და რეგენერაციის დროს საჭიროებს დიდი რაოდენობით ორთქლს, ვიდრე მეთილდიეთანოლამინის შემთხვევაში. ამასთან დროთა განმავლობაში განიცდის დეგრადაციას [69].

ცხრილი 1. მონოეთანოლამინის და მეთილდიეთანოლამინის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

მაჩვენებლების დასახელება	მეა ¹	მდეა ²
ფორმულა	HOC ₂ H ₄ NH ₂	(HOC ₂ H ₄) ₂ CH ₃ N
მოლეკულური მასა	61.1	119.2
სიმკვრივე t=20°C , გ/სმ ³	1.015	1.018
დუღილის ტემპერატურა, °C 101,333 კპა წნევაზე (760 მმ. Hg. სვ)	170	247
გაყინვის ტემპერატურა, °C	10.5	-21
ორთქლის წნევა 60°C-ზე, პა	660	24
ამინების მასური კონცენტრაცია სამუშაო ხსნარში, %	10-20	30-50
რეაქციის სითბო(CO ₂ -თან), კჯ/კგ		
c H ₂ S	1511	1047
C CO ₂	1919	1340

მეთილდიეთანოლამინი მონოეთანოლამინთან შედარებით კოროზიულად ნაკლებად აქტიურია, რაც გვადლევს საშუალებას გამოვიყენოთ უფრო კონცენტრირებული სამუშაო ხსნარები: მეთილდიეთანოლამინი 30±50% მას; მონოეთანოლამინი-12±18% მას. ყოველივე ეს ამცირებს აპარატებისა და მოწყობილობების რემონტის ხარჯებს.

მონოეთანოლამინის გაჯერების ხარისხი არის 0.3±0.35 მოლ/მოლ, მაშინ როცა მეთილდიეთანოლამინის იგივე მაჩვენებელი 0.8 მოლ/მოლ-ს შეადგენს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ცირკულაციური აბსორბენტის ხსნარის მოცულობა, ასევე ენერჯის ხარჯი რომელიც საჭიროა ხსნარის ცირკულაციისათვის და რეგენერაციისათვის 1.5-ჯერ ნაკლებია მეთილდიეთანოლამინის გამოყენების შემთხვევაში [70].

მეა¹ - მონოეთანოლამინი
მდეა² - მეთილდიეთანოლამინი

მონოეთანოლამინის ერთ-ერთ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ასევე რეგენერაციის დროს მოხმარებული სითბოს რაოდენობა, რომელიც 30±40%-ით აღემატება მეთილდიეთანოლამინის გამოყენების შემთხვევაში იგივე მაჩვენებელს.

მეთილდიეთანოლამინთან შედარებით მონოეთანოლამინის ხსნარები მეტად განიცდის დესტრუქციას და მეტად ქაფიანობს ექსპლუატაციის პირობებში.

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ მონოეთანოლამინს მაღალი კოროზიული აქტივობის გამო მოწყობილობების შიდა ზედაპირზე ხდებოდა მინალექი მასების დაჯდომა, მონოეთანოლამინის დაშლის პროდუქტებთან ერთად, რაც იწვევს თბოცვლის ეფექტურობის გაუარესებას [70].

2.3. კონტაქტური აირების აბსორბცია-რექტიფიკაციის კვანძზე გამოყენებული აბსორბენტისა და მისი აქტივატორების დახასიათება

2.3.1. ორთოფოსფორმჟავა

ორთოფოსფორმჟავა (ფოსფორმჟავა, ქიმიური ფორმულა H_3PO_4) არის სამფუძიანი არაორგანული მჟავა, რომელშიც ფოსფორის დაჟანგვის ხარისხი უმაღლესია (+5).

სტანდარტულ პირობებში არის მყარი უფერო, უსუნო ჰიგროსკოპული კრისტალები. ჩვეულებრივ ფოსფორმჟავას უწოდებენ 85% წყალხსნარს. იგი ხსნადია ეთანოლში და სხვა გამხსნელებში. წყალში იხსნება 548 გ/100 მლ. მისი სიმკვრივეა 1.685 გ/სმ³, ლღობის ტემპერატურა +42.35°C, ხოლო დუღილის ტემპერატურა +158°C-ია. ძლიერ მჟავებთან ურთიერთქმედებაში, მაგ: ქლორმჟავასთან $HClO_4$, ავლენს ამფოტერულ თვისებებს [71].

სუფთა სახით, ფოსფორმჟავა არის უფერო კრისტალური ნივთიერება, რომლის დნობის ტემპერატურა 42.35°C . კრისტალიზდება მონოკლინიკურ სინგონიაში [72].

მყარი ფოსფორმჟავა ჰიგროსკოპულია და იხსნება ჰაერში არსებულ ტენში. ის ერევა წყალს ყველა თანაფარდობით.

ფოსფორმჟავა არის საშუალო სიძლიერის მჟავა. წყალხსნარებში ის განიცდის დისოციაციას სამ ეტაპად. მხოლოდ დისოციაცია პირველ ეტაპზე არის ეგზოთერმული; მეორე და მესამე ეტაპზე კი ენდოთერმული.

ფოსფორმჟავას შეუძლია წარმოქმნას ფოსფატები, ასევე მჟავა მარილები-ჰიდროფოსფატები და დიჰიდროფოსფატები. ამასთან, ნორმალურ პირობებში ის არააქტიურია და რეაგირებს მხოლოდ კარბონატებთან, ჰიდროქსიდებთან და ზოგიერთ ლითონთან. 80°C -ზე ზემოთ ფოსფორმჟავა ასევე რეაგირებს არააქტიურ ოქსიდებთან, სილიციუმთან და სილიკატებთან. ფოსფატები ასევე წარმოიქმნება ფოსფატირების დროს, რომლითაც შავი და ფერადი ლითონები იფარება დამცავი ფენით, მათი მახასიათებლების გასაუმჯობესებლად.

ფოსფორმჟავას გათბობა იწვევს წყლის გახლეჩას პიროფოსფორის მჟავისა და მეტაფოსფორის მჟავის წარმოქმნით.

ორთოფოსფორმჟავას გამორჩეული რეაქცია სხვა ფოსფორის მჟავებისგან არის რეაქცია ვერცხლის ნიტრატთან. წარმოიქმნება ყვითელი ნალექი, ხოლო სხვა ფოსფორის მჟავები იძლევა თეთრ ნალექს [73].

2.3.2. ძმარმჟავა

ძმარმჟავა - ორგანული ნივთიერება, ქიმიური ფორმულით CH_3COOH . აქვს დამახასიათებელი სუნი და არის უფერო, თხევადი ნივთიერება. განზავებული ძმარმჟავა არის სუსტი მჟავა თუმცა კონცენტრირებული ძლიერ კოროზიულია და იწვევს კანის დაზიანებას.

ძმარმჟავა არის მეორე ყველაზე მარტივი კარბონმჟავა (ჭიანჭველმჟავას შემდეგ). მის მოლეკულაში კარბოქსილის ფუნქციურ ჯგუფს უკავშირდება მეთილის რადიკალი. ყოველდღიურ ცხოვრებაში გამოიყენება განზავებული სახით, რომელსაც ძმარს უწოდებენ. ძირითადად მიიღება მეთანოლისაგან, მაგრამ ვინაიდან ძმარი ძლიერ განზავებული ძმარმჟავაა, ხშირად ეთანოლისაგან აწარმოებენ.

ძმარმჟავა მიიღება :

ა) მეთანოლისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის რეაქციით.

ბ) აცეტალდეჰიდის დაჟანგვით. ეს იყო პირველი მეთოდი, რომელიც არ მოიცავდა მეთანოლის კარბოქსილაციას. აცეტალდეჰიდი მიიღება აცეტილენის ჰიდრატაციით. ეს მეთოდი გავრცელებული იყო 1900-იან წლებამდე.

ძმარმჟავა არის ქიმიური რეაგენტი, რომელიც მრავალი პროდუქტის მისაღებად გამოიყენება. მისგან ამზადებენ ვინილის აცეტატის მონომერს, ძმარმჟავას ანჰიდრიდს და ძმარს.

ძმარმჟავა გამოიყენება ვინილის აცეტატის დასამზადებლად, რაც მოიცავს ეთილენისა და ძმარმჟავას ურთიერთქმედებას აირად ფაზაში და ჟანგბადის არეში. კატალიზატორად გამოიყენება პალადიუმი.

მონომერის პოლიმერიზაციით მიიღება პოლივინილის აცეტატი ან სხვა პოლიმერი, რომლებსაც იყენებენ საღებავებისა და წებოების დასამზადებლად.

ძმარმჟავას ანჰიდრიდი მიიღება ძმარმჟავას ორი მოლეკულის დეჰიდრატაციით. $700-750^{\circ}\text{C}$ -ზე გახურებისას ძმარმჟავასგან ფორმირდება კეტენი, რომელიც შედის რეაქციაში სხვა მოლეკულასთან და წარმოქმნის ანჰიდრიდს [74]:

ძმარმჟავას ანჰიდრიდის ძირითადი დანიშნულება აცეტილაციაა. მისგან მიიღება ჰერონი და სხვა მრავალი ქიმიური ნივთიერება.

ძმარმჟავა არის მონობაზური კარბოქსილის მჟავა, რომელიც არის უფერო სითხე, დამახასიათებელი მძაფრი სუნით და მჟავე გემოთი. ჰიგროსკო-

პული. იგი უსასრულოდ ხსნადია წყალში, შერეულია მრავალ გამხსნელთან, არაორგანული ნაერთები და გაზები, როგორცაა HF, HCl, HBr, HI და სხვა, ძალიან ხსნადია ძმარმჟავაში. ის არსებობს ციკლური და წრფივი დიმერების სახით.

- დნობით ტემპერატურა - 16.75°C
- დუღილის ტემპერატურა - 118.1°C
- აალების ტემპერატურა - 39±6°C
- თვითაალების ტემპერატურა - 427±1°C
- მოლური მასა-60.05 გ/მოლი
- სიმკვრივე- 1.0492 გ/სმ³
- იონიზაციის ენერგია - 10.66 ± 0.01 ევ [75]

ძმარმჟავას აქვს კარბოქსილის მჟავების ყველა თვისება და ზოგჯერ განიხილება, როგორც მათი ყველაზე ტიპური წარმომადგენელი (ფოსფორმჟავასაგან განსხვავებით, რომელსაც აქვს ალდეჰიდების გარკვეული თვისებები). კარბოქსილის მჟავის კარბოქსილის ჯგუფის (-COOH) წყალბადსა და ჟანგბადს შორის კავშირი ძლიერ პოლარულია, რის შედეგადაც ამ ნაერთებს შეუძლიათ ადვილად დისოცირება და მჟავე თვისებების გამოვლენა [76].

2.4. ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აბსორბენტის აქტივატორის ორთოფოსფორმჟავას უარყოფითი მხარეები

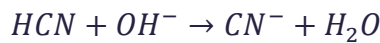
სუფთა სახით ციანმჟავა, ან სტაბილიზებული ძლიერი მჟავებით, მაგალითად H₂SO₄-ით, H₃PO₄ და სხვა საკმაოდ მდგრადი ნივთიერებაა, მაგრამ ფუძე ხასიათის ნივთიერებების მოხვედრა იწვევს მის პოლიმერიზაციას.

პოლიმერიზაციის სიჩქარე დამოკიდებულია ციანმჟავას ტემპერატურაზე და კატალიზატორის რაოდენობაზე. ციანმჟავას პოლიმერიზაციის კატალიზატორებად გვევლინებიან არაორგანული ფუძეები, ისეთები როგორცაა ამიაკი, ციანიდები, კარბონატები, ლითონთა ჰიდროქსიდები და ორ-

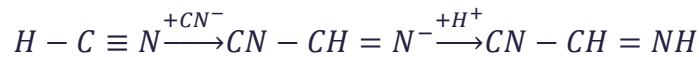
განული ფუძეები. ციანმჟავაში ფუძეების კვალის მოხვედრაც კი საკმარისია, რომ მოხდეს მისი პოლიმერიზაცია. პოლიმერიზაციის პროცესის დაწყებისას ციანმჟავა სწრაფად იფერება მოწითალო-მოყავისფროდ, ხოლო რამოდენიმე წუთის შემდეგ სითხიდან გამოყოფას იწყებს მურა ფერის მსუბუქი ნალექი, რაც პოლიმერიზაციის პროდუქტს წარმოადგენს. ამ ნივთიერებას “აზულმის” მჟავას უწოდებენ და შეესაბამება ფორმულას - C₄H₅N₅O.

ტუტე არეში ციანმჟავას პოლიმერიზაცია მოიცავს რამოდენიმე სტადიას:

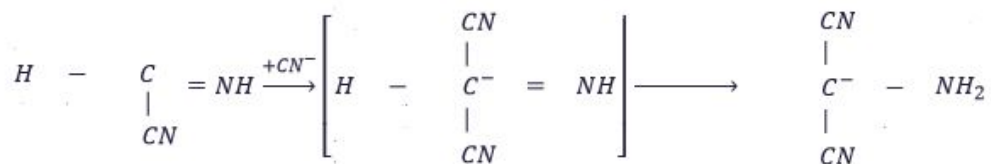
ა) ციანმჟავას ურთიერთქმედება კატალიზატორთან ციანიდ-ანიონის წარმოქმნით:



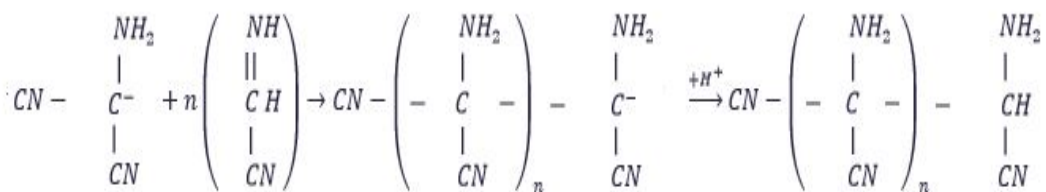
ბ) ციანმჟავას დიმერიზაცია (იმინოაცეტონიტრილის წარმოქმნა):



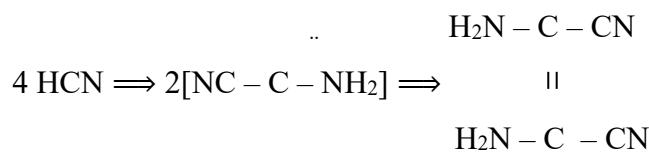
გ) ციანიდ ანიონის მიერთება ციანმჟავას დიმერთან:



დ) პოლიმერის წარმოქმნა:



გარდა მოყვანილი მექანიზმისა არის მტკიცებულებები, რომლის მიხედვითაც ციანმჟავას ტეტრამერი მიიღება შუალედური ნივთიერების ბირადიკალ ამინოციანკარბენის გზით:



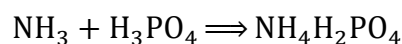
თვითონ ციანმჟავა გამჭვირვალე უფერო სითხეა, ხოლო ციანმჟავას პოლიმერი მყარი შავი ფერის მასაა. პოლიმერიზაციის პროცესი არის ძალიან საშიში პროცესი და იგი ავტოკატალიზურად მიმდინარეობს ტემპერატურის გამოყოფით. ავტოკატალიზური პროცესი კი შესაძლებელია აფეთქებითაც დამთავრდეს. ამიტომაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, სულფატის სკრუბერის მიღმა გაპარული ამიაკის შეკავშირებას [77].

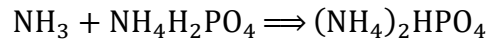
ს.ს. „რუსთავის აზოტში“ ციანმჟავას პოლიმერიზაციის აღმოფხვრის მიზნით ციანმჟავას სტაბილიზატორად ათწლეულების მანძილზე გამოიყენებოდა ორთოფოსფორმჟავა.

ციანმჟავას პოლიმერიზაციის ინიციატორებიდან ციანმჟავას წარმოების აბსორბციისა და რექტიფიკაციის სტადიებზე მოხვედრა გარდა ამიაკისა გამორიცხულია. რაც შეეხება ამიაკს, კონტაქტური აირების გოგირდმჟავური გაწმენდის სტადიის შემდეგ კონტაქტურ აირებში ამიაკის ნარჩენი შემცველობა არა უმეტეს 0.03%-ია. მეორეს მხრივ ციანმჟავას წარმოების ტექნოლოგიური რეგლამენტის მიხედვით, ცნობილია, რომ სარექტიფიკაციო კოლონაში ციანმჟავას პოლიმერიზაციის პროცესის თავიდან აცილების მიზნით მიეწოდებოდა ორთოფოსფორმჟავა იმ რაოდენობით, რომ კუბის სითხეში მისი კონცენტრაცია 0.3-1.0% ზღვრებში ყოფილიყო.

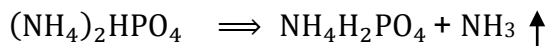
ორთოფოსფორმჟავას გამოყენებას, როგორც აბსორბენტის აქტივატორს აქვს მნიშვნელოვანი უარყოფითი თვისება, ეს არის მისი უნარი ამიაკთან წარმოქმნას ისეთი ფოსფატები, როგორც არის ორჩანაცვლებული და სამჩანაცვლებული ფოსფატები, რომელთაც, თავის მხრივ, აქვთ უნარი წყალხსნარებში ჰიდროლიზის შედეგად წარმოქმნან ამიაკი, რაც ციანმჟავას პოლიმერიზაციისთვის, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ინიციატორს წარმოადგენს.

ორთოფოსფორმჟავა, როგორც სამფუძიანი მჟავა ამიაკთან რეაქციაში შედის საფეხურებრივად, რომლის შედეგადაც მიიღება ამონიუმის დიჰიდროფოსფატი ან ამონიუმის ჰიდროფოსფატი:



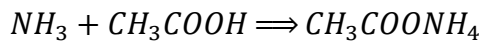


ჩამოთვლილი რეაქციებიდან პირველი რეაქციის შედეგად მიღებული პროდუქტი- $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ მდგრადი ნივთიერებაა და მისი დაშლის ტემპერატურა 190°C -ის ზევითაა. ორთოფოსფორმჟავას ნეიტრალიზაციის მეორე საფეხურზე მიიღება ორჩანაცვლებული ფოსფატი- $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, რომელიც $70-80^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე იშლება ერთჩანაცვლებული ფოსფატისა და ამიაკის წარმოქმნით:



სწორედ ეს ამიაკი გვევლინება პოლიმერიზაციის ინიციატორად.

მოგვიანებით ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული ორთოფოსფორმჟავა ჩანაცვლებული იქნა ძმარმჟავით. ძმარმჟავას გააჩნია რიგი უპირატესობები ორთოფოსფორმჟავასთან შედარებით. ეს არის მისი აქროლალობა, რაც თავის მხრივ საშუალებას იძლევა, რომ ციანმჟავას ორთქლს იგი თან სდევდეს ჯერ კიდევ აირად მდგომარეობაში, ვიდრე იგი გადავიდოდეს წყალხსნარებში. ასევე აქვს უპირატესობა მდგრადი ნაერთის წარმოქმნა ამიაკთან.

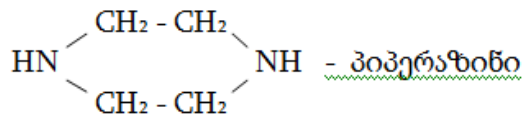
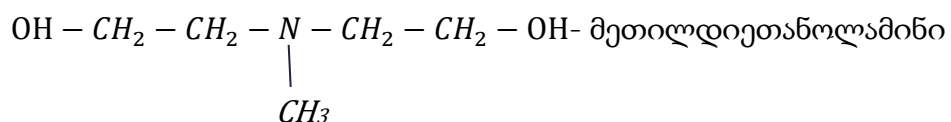


როგორც ხედავთ, ძმარმჟავა ერთფუძიანი მჟავაა და ამიაკთან იძლევა ერთჩანაცვლებულ აცეტატს. ასევე გააჩნია ძმარმჟავას უპირატესობა, რომ ის არის საკმაოდ ეკონომიური - თუკი სისტემაზე ორთოფოსფორმჟავას ხარჯვითი ნორმა გათვალისწინებული იყო ხსნარებში 1% ოდენობით, ძმარმჟავას შემთხვევაში შემცირებულია მაქსიმუმ 0.5%-მდე. და ასევე აქვს კიდევ ერთი დამატებითი უპირატესობა-ეს არის სისტემაზე ძმარმჟავის რეციკლის შესაძლებლობა.

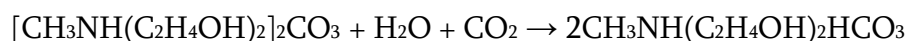
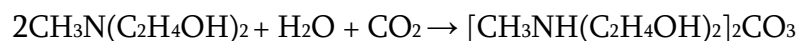
2.5. სს „რუსთავის აზოტის“ ამიაკის და ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტების ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავება.

2.5.1. ამიაკის წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავება

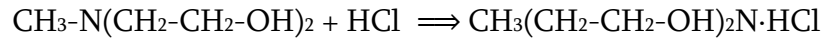
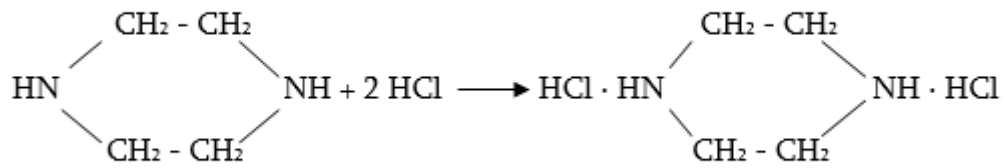
კომპანია DOW-ს მიერ მოწოდებული აბსორბენტი UCARSOL NH 608, ასევე UCARSOL NH 601 ორი ნივთიერების მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევი, უცნობი თანაფარდობით. თითოეული მათგანის ქიმიური ფორმულები წარმოდგენილია ქვემოთ:



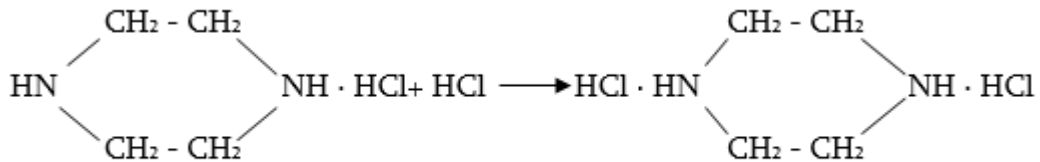
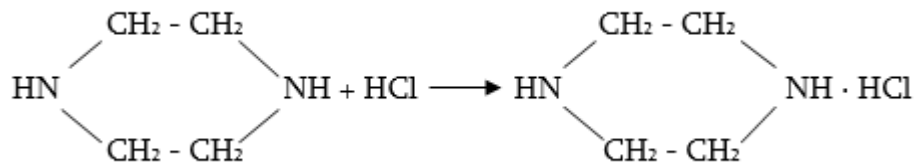
მეთილდიეთანოლამინი და პიპერაზინი ორივე ტუტოვანი ბუნების ქიმიური ნივთიერებაა, რომელთაც აქვთ უნარი რეაქციაში შევიდნენ მჟავური ქიმიური ბუნების მქონე ნივთიერებებთან. სწორედ ამ თვისებას ეფუძნება მათი რეაქციისუნარიანობა კონვერტირებულ აირში არსებულ ნახშირორჟანგთან. რეაქციები გამოისახება შემდეგი განტოლებით:



მეთილდიეთანოლამინის და პიპერაზინის შემცველობის ანალიზს მწარმოებელი კომპანია ასრულებს სითხური ქრომატოგრაფიის მეთოდით, რომლის საშუალებაც წარმოებაში არაა, ამიტომაც მათი ანალიზი შესაძლოა დაეფუძნოს მათ უნარს რეაქციაში შევიდეს ცნობილი კონცენტრაციის მჟავასთან, მაგალითად მარილმჟავასთან შემდეგი რეაქციების საფუძველზე:



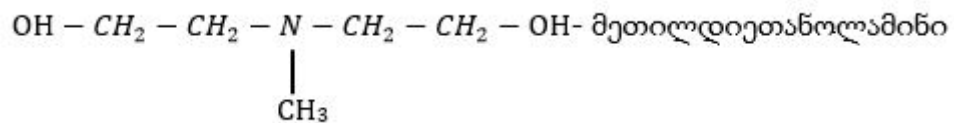
მეთილდიეტანოლამინი წარმოადგენს მესამეულ ამინს, რომელსაც აქვს უნარი რეაქციაში შევიდეს ერთ მოლ ერთფუძიან მჟავასთან (მაგალითად მარილმჟავასთან) რაც შეეხება პიპერაზინს, რომელიც ორფუძიან ციკლურ ამინს წარმოადგენს, ამიტომ გაჩნდა ვარაუდი, რომ პიპერაზინი ერთფუძიან მჟავასთან რეაქციაში შევიდოდა ორსაფეხურეობრივად შემდეგი რეაქციების მიხედვით:



აღნიშნული ვარაუდის დასამტკიცებლად საჭირო იყო ექსპერიმენტული სამუშაოს შესრულება და იმის დადგენა, პიპერაზინი შედიოდა თუ არა ორ საფეხურად რეაქციაში მარილმჟავასთან და pH-ის რომელ ნიშნულზე ხორციელდებოდა თითოეული საფეხური.

2.5.1.1. მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის მეთოდის შემუშავება

მეთილდიეთანოლამინი წარმოადგენს უფერო სითხეს ამიაკის დამახასიათებელი სუნით. იგი იხსნება წყალში, ეთილის სპირტსა და ბენზოლში. წარმოადგენს მესამეულ ამინს, რომელიც დღეისათვის ფართოდ გამოიყენება ქიმიურ მრეწველობაში ტექნოლოგიური აირების მჟავა აირებისაგან გასაწმენდად. მეთილდიეთანოლამინის ქიმიური ფორმულაა: $C_5H_{13}NO_2$



მეთილდიეთანოლამინის ფარდობითი მოლაკულური მასაა 119.164. სიმკვრივე 20°C -ზე 1.038 გ/სმ^3 , ლღობის ტემპერატურა $t_{\text{ლღ}} = -21^\circ\text{C}$, ხოლო დუღილის ტემპერატურა $t_{\text{დუღ}} = 247.1^\circ\text{C}$ -ის ტოლია. მეთილდიეთანოლამინის შუქგარდატეხის მაჩვენებელი 1.4694-ის ტოლია.

ამისათვის, რომ შეგვემუშავებინა მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის მეთოდი, ამისათვის საჭირო იყო ქიმიურად სუფთა მეთილდიეთანოლამინის ქონა. ჩვენს მიერ შესაბამის საიტებზე მოძებულ იქნა მეთილდიეთანოლამინი, რომელიც წარმოებული იყო სუფთა ქიმიური რეაქტივების მწარმოებელი კომპანია SIGMA ALDRICH-ის მიერ. რეაქტივი დაფასოებული იყო 250 სმ^3 ტევადობის შეფუთვებში, ხოლო ძირითადი ნივთიერებების შემცველობა 99.0% -ს შეადგენდა. ექსპერიმენტალური სამუშაოებისათვის ჩვენს მიერ შესყიდული იქნა 0.500 დმ^3 ოდენობის ქიმიურად სუფთა, 99.0% -იანი მეთილდიეთანოლამინი.

რეაქტივის მიღების შემდეგ ჩვენს მიერ მასში განსაზღვრულ იქნა სიმკვრივე არეომეტრის გოსტ 1300-87 გამოყენებით. ამისათვის მეთილდიეთანოლამინი გადავიტანეთ 250 სმ^3 ტევადობის ცილინდრში და მოვათავსეთ თერმოსტატში 20°C ტემპერატურაზე. პერიოდულად ვურევდით და ვზომავდით სითხის ტემპერატურას. 20°C -ზე სითხის ტემპერატურის დასტაბილურებისას ვიღებდით ცილინდრს თერმოსტატიდან და მასში ვათავსებ-

დით ასევე 20 °C ტემპერატურის მქონე არეომეტრს. ჩვენს მიერ განსაზღვრული სიმკვრივის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 1.

გარდა სიმკვრივის განსაზღვრისა, ჩვენს მიერ შესრულებული იქნა შუქგარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრა რეფრაქტომეტრზე YPA MO-ДЕЛЪ-1 №78-3347. ჩვენს მიერ შესრულებული შუქგარდატეხის მაჩვენებლის ანალიზის შედეგები ასევე წარმოდგენილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2. მეთილდიეთანოლამინის სიმკვრივის და შუქგარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრის შედეგები

№	სიმკვრივე, გ/სმ ³	შუქგარდატეხის მაჩვენებელი	შენიშვნა
1	1.039	1.4696	
2	1.036	1.4693	
3	1.038	1.4694	
4	1.036	1.4695	
5	1.037	1.4693	

სიმკვრივისა და შუქგარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრის შემდეგ შევუდეთ მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის მეთოდის დამუშავებას. ამისათვის ვწონდით მეთილდიეთანოლამინს ბიუქსით ანალიზურ სასწორზე KERN ABG-220 2-5 გ-ის ოდენობით და რაოდენობრივად გადაგვექონდა 250 სმ³ ტევადობის ქიმიურ ჭიქაში, ჭიქაში ვათავსებდით მაგნიტურ სარეველას მაგნიტს და ვდგამდით მაგნიტურ სარეველაზე. ქიმიურ ჭიქაში ვასხამდით დაახლოებით 150 სმ³ დისტილირებულ წყალს და ამავე ხსნარში ვათავსებდით pH-მეტრის SARTORIUS PB-11 ელექტროდს.

სატიტრაცი ხსნარის მომზადება: 1000 სმ³ ტევადობის მზომ კოლბაში ვათავსებდით 86 სმ³ ქიმიურად სუფთა 36%-იან მარილმჟავას, კოლბას ვავსებდით ჭდემდე დისტილირებული წყლით და ვურევდით. 36%-იანი მარილმჟავას მოცულობა აღებული იქნა გათვლების საფუძველზე, რომლის მიხედვითაც მიღებული ხსნარი 1 ნ უნდა ყოფილიყო. ამის შემდეგ შევუდეთ მიღებულ 1 ნ HCl-ის შესწორების კოეფიციენტის დადგენას, ამისათვის

მოვამზადეთ 1 ნ NaOH ფიქსანალიდან 100 სმ³-იან მზომ კოლბაში. 1 ნ HCl-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტის დასადგენად ვიღებდით 25 სმ³ 1 ნ HCl-ს და გადაგვექონდა 250 სმ³ ტევადობის ერლენმეიერის კოლბაში მასზე ვამატებდით 100 სმ³ დისტილირებულ წყალს და ინდიკატორ მეთილწითელს 2-3 წვეთს, მიღებული წითელი ფერის ხსნარს ვტიტრავდით NaOH-ის ზუსტად 1 ნ ხსნარის გამოყენებით ბიურეტიდან ხსნარის წითელიდან ყვითელში გადასვლამდე. ტიტრაციის დასრულების შემდეგ ბიურეტზე ავითვლიდით დახარჯული 1 ნ NaOH-ის მოცულობას, ხოლო შემდეგ ვანგარიშობდით 1 ნ HCl-ის შესწორების კოეფიციენტს, შემდეგი ფორმულით:

$$K = \frac{V(1 \text{ ნ NaOH})}{V(1 \text{ ნ HCl})}$$

HCl-ის 1 ნ ხსნარის შესწორების კოეფიციენტის დასადგენად ჩატარებული ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3.

ცხრილი 3. სატიტრაციო ხსნარის (1 ნ HCl) შესწორების კოეფიციენტის დადგენისთვის ჩატარებული ანალიზის შედეგები

№	გასატიტრად აღებული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, მლ	დახარჯული ზუსტად 1 ნ NaOH-ის მოცულობა, მლ	შესწორების კოეფიციენტი, K	შენიშვნა
1	10	9.95	0.9950	
2	10	9.95	0.9950	
3	15	14.95	0.9966	
4	15	14.95	0.9966	
5	20	19.90	0.9950	
6	20	19.90	0.9950	

ჩატარებული ანალიზების შედეგებიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ 1 ნ HCl-ის შესწორების კოეფიციენტად მიღებული იქნა $k=0.9950$.

სატიტრაციო ხსნარის მომზადების შემდეგ საჭირო იყო მეთილდიეთანოლამინისა და მარილმჟავას შორის მიმდინარე რეაქციის ექვივალენტობის წერტილის დადგენა ამისათვის მაგნიტურ სარეველაზე დადგმული

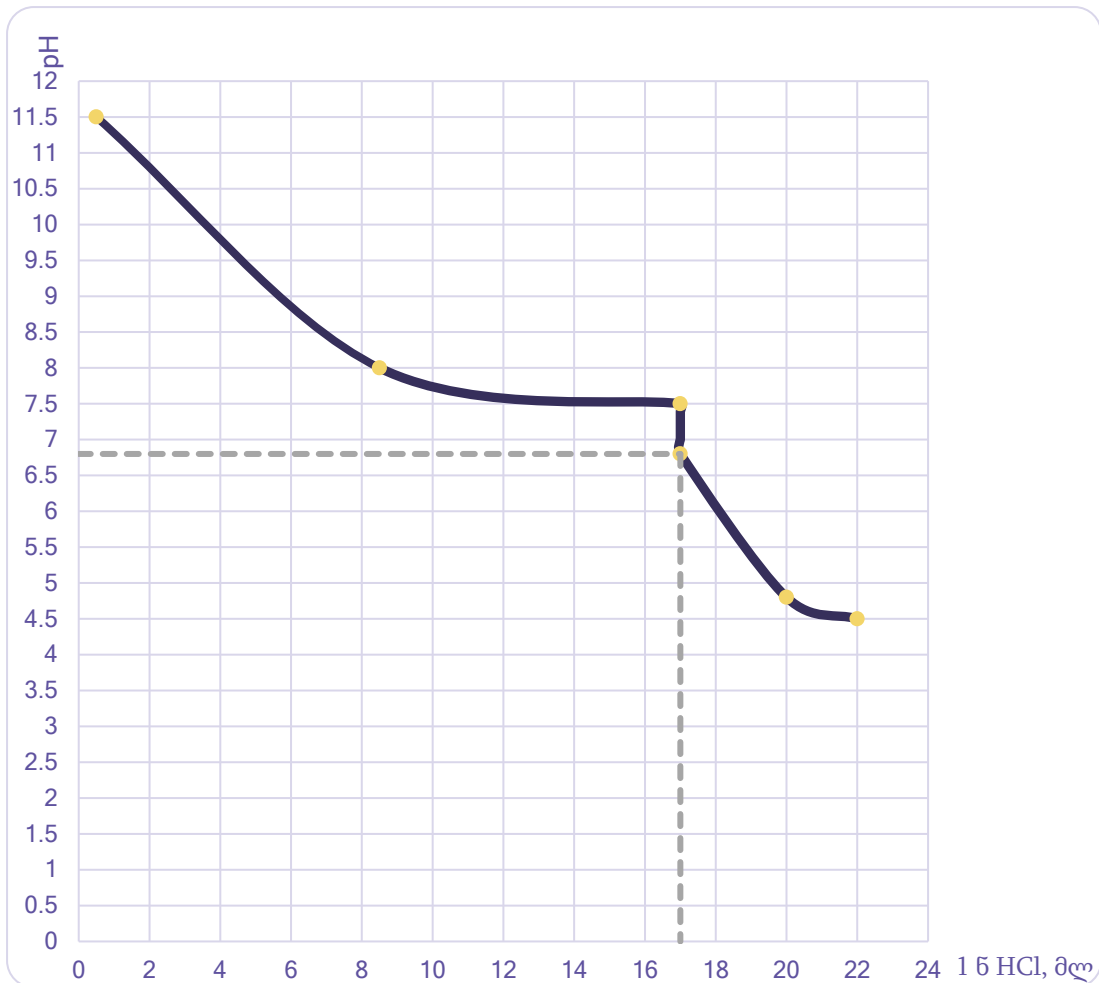
მეთილდიეთანოლამინის ხსნარს ვტიტრავდით 1 ნ HCl-ის გამოყენებით და ვაკვირდებოდით pH-ის ცვლილებას ამ დროს.

ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური სერიის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 4,5.

ცხრილი 4. მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის 1 ნ HCl -ით ტიტრაციისას ხსნარში pH-ის ცვალეზადოზა. სატიტრავად აღებული მეთილდიეთანოლამინის მასა იყო 2.0000 გ

ექსპერიმენტი № 1		ექსპერიმენტი № 2		ექსპერიმენტი № 3	
ტიტრაცია 1 ნ HCl- ით		ტიტრაცია 1 ნ HCl-ით		ტიტრაცია 1 ნ HCl-ით	
მლ	pH	მლ	pH	მლ	pH
2	10.91	2	10.96	2	10.90
4	10.68	4	10.53	4	10.47
6	9.96	6	9.72	6	9.81
8	9.54	8	9.12	8	9.07
10	8.94	10	8.53	10	8.57
12	8.16	12	8.05	12	8.02
14	7.72	14	7.62	14	7.51
15	6.93	15	6.97	15	6.82
16	6.75	16	6.77	16	6.76
17	6.68	17	6.69	17	6.67
18	6.54	18	6.53	18	6.50
19	6.41	19	6.47	19	6.41
20	6.27	20	6.31	20	6.22

ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე ავავით მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის ტიტრაციისას დახარჯული 1 ნ HCl-ის მლ-ების დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე.



ნახაზი 1. მეთილდეეთანოლამინის ხსნარის ტიტრაციისას ხსნარის pH-ის დამოკიდებულება დახარჯული 1 N HCl-ის მოცულობაზე

როგორც წარმოდგენილი ცხრილებიდან და დიაგრამიდან ჩანს მეთილდეეთანოლამინის ტიტრაციისას მასსა და მჟავას შორის მიმდინარე რეაქციის ექვივალენტობის წერტილი $\text{pH}=6.7$ -ზე მდებარეობს. ამის შემდეგ დავიწყეთ ისეთი მჟავა-ტუტოვანი ინდიკატორის შერჩევა, რომლის ფერის ცვლის pH ამ დიაპაზონში იქნებოდა. ცნობარის მიხედვით შევარჩიეთ შემდეგი ინდიკატორები:

1. ბრომკრეზოლწითელი ფერის ცვლის $\text{pH}=5.6 - 6.8$;
2. ალიზარინი ფერის ცვლის $\text{pH}=5.6-6.8$;
3. ბრომთიმოლ ლურჯი ფერის ცვლის $\text{pH}=5.8-7.6$;
4. n -ნიტროფეროლი ფერის ცვლის $\text{pH}=5.6-7.6$.

ჩამოთვლილი ინდიკატორებიდან ჩვენთვის ხელმისაწვდომი ინდიკატორი იყო ბრომფენოლლურჯი, რომლის ფერის ცვლა ტუტე არედან მჟავა

არეში ხორციელდება pH=6.0-6.7 დიაპაზონში ლურჯიდან მწვანეში. ამის შემდეგ საჭირო იყო ტიტრაცია განხორციელებულიყო ინდიკატორ ბრომფენოლლურჯის გამოყენებით და პარალელურად pH-მეტრის გამოყენებით, იმისათვის, რომ ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა შედარებულიყო ერთმანეთს. ამისათვის მეთილდიეთანოლამინის გარკვეული რაოდენობა იტიტრებოდა როგორც ცალცალკე ალიქვოტის მეშვეობით, ასევე ერთიდაიგივე ალიქვოტში. ჩატარებული ექსპერიმენტარული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 5.

ცხრილი 5. მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრის და ინდიკატორი ბრომთიმოლლურჯის თანაობისას

№	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	ხსნარის pH	ხსნარის შეფერილობა	შენიშვნა
1	2	10.23	ლურჯი	
2	4	9.82	ლურჯი	
3	6	9.49	ლურჯი	
4	8	9.22	ლურჯი	
5	10	8.98	ლურჯი	
6	12	8.73	ლურჯი	
7	14	8.43	ლურჯი	
8	15	8.18	ლურჯი	
9	16	7.94	ლურჯი	
10	17	7.12	მწვანე	
11	18	6.0	მწვანე	

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს, მეთილდიეთანოლამინის მარილმჟავით ტიტრაციისას pH-მეტრით დადგენილი ექვივალენტობის წერტილი ემთხვევა ინდიკატორ ბრომფენოლლურჯის ფერის ცვლილებას.

კვლევის შემდეგი ეტაპი იყო მეთილდიეთანოლამინის ტიტრაციის შედეგების დამუშავება, ამისათვის მეთილდიეთანოლამინის მოლეკულური მასიდან, ექვივალენტიდან და სატიტრაციო ხსნარის ნორმალობიდან გამომდინარე შევიმუშავეთ შემდეგი საანგარიშო ფორმულა:

$$X = \frac{V \cdot K \cdot 119.164 \cdot N \cdot 100}{m \cdot 1000}$$

სადაც:

V- ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ³;

K- 1 ნ HCl-ის შესწორების კოეფიციენტი;

119.164- მეთილდიეთანოლამინის მოლეკულური მასა;

N- სატიტრაციო ხსნარის ნორმალობა;

M-საანალიზოდ აღებული მეთილდიეთანოლამინის მასა,გ;

1000-მეთილდიეთანოლამინის ტიტრის გასაანგარიშებელი რიცხვი.

ზემოთაღნიშნული ფორმულა შესაძლებელია გავამარტივოთ, თუ მასში მოცემულ ცვლადს, N დავუშვებთ რომ იგი ყოველთვის 1-ის ტოლია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ტიტრაცია ყოველთვის 1 ნ მარილმჟავით იქნება განხორციელებული, ამ შემთხვევაში ფარდობა:

$$\frac{V \cdot 119.164}{1000} = T = \frac{1 \cdot 119.164}{1000} = 0.119164$$

შესაბამისად საანგარიშო ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს :

$$X = \frac{V \cdot K \cdot 0.119164}{m} \cdot 100$$

სადაც:

0.119164- მეთილდიეთანოლამინის ტიტრი 1 ნ HCl-ის გამოყენებისას. ასევე შეიძლება შემდეგი ფორმულირებაც: მეთილდიეთანოლამინის მასა, რომელიც შეესაბამება 1 სმ³, 1 ნ HCl-ს.

იმის დასადასტურებლად, რომ ტიტრაციის პროცესი, ექვივალენტობის ჩვენს მიერ დადგენილი წერტილი და საანგარიშო ფორმულა სწორადაა განსაზღვრული, ჩავატარეთ მეთილდიეთანოლამინის (რეაქტივის) სხვადასხვა რაოდენობის ტიტრაცია, როგორც ინდიკატორ ბრომფენოლლურჯის, ასევე pH-მეტრის გამოყენებით. ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის შესაბამისად დავიანგარიშეთ მეთილდიეთანოლამინის კონცენტრაცია რეაქტივში. ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 6 და 7.

ცხრილი 6. მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის შედეგები ინდიკატორი ბრომფენოლლურჯის გამოყენებით

№	გასატიტრად აღებული მდგა-ს მასა, გ	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	მდგა ³ -ს კონცენტრაცია, %	აბსოლუტური ცდომილება, +/-	შენიშვნა
1	2.0039	16.7	99.31	+ 0.31	
2	2.0285	16.9	99.28	+0.28	
3	2.0809	17.3	99.07	+0.07	
4	2.0600	17.1	98.92	-0.08	
5	3.0156	25.0	98.79	-0.21	
6	3.0281	25.2	99.17	+0.17	
7	3.0583	25.5	99.36	+0.36	
8	3.0071	25.0	99.07	+0.07	
9	4.0211	33.4	98.98	-0.02	
10	4.0423	33.6	99.03	+0.03	
11	4.0617	33.7	98.87	-0.13	
12	4.0138	33.4	99.16	+0.16	
13	5.1873	43.0	98.78	-0.22	
14	5.1486	42.8	99.06	+0.06	
15	5.0828	42.3	99.17	+0.17	
16	5.0327	41.9	99.21	+0.21	

ცხრილი 7. მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის შედეგები pH-მეტრის გამოყენებით

№	გასატიტრად აღებული მდგა-ს მასა, გ	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	ხსნარის pH ექვივალენტობის წერტილზე	მდგა-ს კონცენტრაცია %	აბსოლუტური ცდომილება, +/-
1	2.0460	17.0	6.72	99.01	+0.01
2	2.0346	16.9	6.71	98.98	-0.02
3	2.0809	17.3	6.68	99.07	+0.07
4	2.1030	17.5	6.69	99.16	+0.16
5	3.0005	24.9	6.73	98.89	-0.11
6	3.0366	25.2	6.69	98.89	-0.11
7	3.0758	25.6	6.71	99.07	+0.07
8	3.0157	25.1	6.70	99.18	+0.18

მდგა³ - მეთილდიეთანოლამინი

ცხრილი 7. გაგრძელება

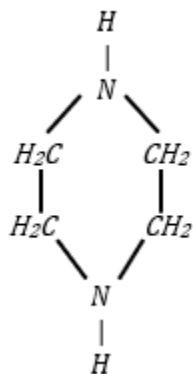
9	4.0062	33.3	6.71	99.05	+0.05
10	4.0086	33.3	6.72	98.99	-0.01
11	4.0319	33.5	6.69	99.01	+0.01
12	4.0801	33.9	6.73	99.10	+0.10
13	5.2328	43.5	6.68	99.06	+0.06
14	5.1941	43.1	6.70	98.88	-0.12
15	5.1800	43.0	6.71	98.92	-0.08
16	5.2261	43.4	6.72	98.96	-0.04

როგორც წარმოდგენილი ცხრილებიდან (ცხრილი №5; ცხრილი №6) ჩანს, მეთილდიეთანოლამინის გატიტვისათვის გამოყენებული ინდიკატორი ბრომფენოლლურჯი, ასევე ექვივალენტობის დადგენილი წერტილი (pH=6.7) და საანგარიშო ფორმულა სწორადაა განსაზღვრული. ასევე აღსანიშნავია, რომ ტიტრაციის ინდიკატორული მეთოდის შემთხვევაში ცდომილება უფრო მეტია, ვიდრე pH-მეტრის გამოყენებისას.

2.5.1.2. პიპერაზინის ანალიზის მეთოდის შემუშავება

პიპერაზინი წარმოადგენს მყარ უფერო კრისტალებს, ამინების დამახასიათებელი სუნით. იგი კარგად იხსნება ეთანოლში. პიპერაზინის წყალხსნარი ტუტე თვისებისაა, იგი ავლენს მეორეული ამინების ყველა ქიმიურ თვისებას. პიპერაზინი გამოიყენება ორგანულ სინთეზში, როგორც კოროზიის ინჰიბიტორი, მისი მარილები ასევე გამოიყენება მედიცინასა და ვეტერინარიაში.

პიპერაზინის ქიმიური ფორმულაა C₄H₁₀N₂



- პიპერაზინი

პიპერაზინის ფარდობითი მოლეკულური მასა 86.14, ლღობის ტემპერატურა $t_{\text{ღ}} = 112^{\circ}\text{C}$, ხოლო დუდილის ტემპერატურა $t_{\text{დ}} = 146^{\circ}\text{C}$ -ის ტოლია. პიპერაზინი ჰიგროსკოპულობის გამო იკავშირებს წყალს და წარმოქმნის ჰექსაჰიდრატს, რომლის ლღობის ტემპერატურა $t_{\text{ღ}} = 44^{\circ}\text{C}$ -ის ტოლია.

იმისათვის, რომ შეგვემუშავებინა პიპერაზინის ანალიზის მეთოდი, ამისათვის საჭირო იყო ქიმიურად სუფთა პიპერაზინი. ჩვენს მიერ შესაბამის საიტებზე მოძიებულ იქნა პიპერაზინი, რომელიც წარმოებული იყო სუფთა ქიმიური რეაქტივების მწარმოებელი კომპანია MERCK-ის მიერ. რეაქტივი დაფასოებული იყო 5; 100; 500 და 1000 გ-იან შეფუთვაში, მასში ძირითადი ნივთიერების შემცველობა 99.5%-ს შეადგენდა. ექსპერიმენტალური სამუშაოებისათვის ჩვენს მიერ შეძენილ იქნა 100 გ 99.5 %-იანი პიპერაზინი.

რეაქტივის მიღების შემდეგ შევეცადეთ გადაგვეკრისტალებინა იგი წყლიდან ან ეთანოლიდან მაგრამ პიპერაზინის ჰიგროსკოპულობის გამო კრისტალური ნივთიერება ვერ იქნა მიღებული. ამის შემდეგ განსაზღვრული იქნა კრისტალური პიპერაზინის ლღობის ტემპერატურა, ამისათვის მშრალი აზოტის ატმოსფეროში რეაქტივს ვათავსებთ კაპილარში, ვურჩილავდით ბოლოს, მასში ტენის მოხვედრის თავიდან აცილებისათვის, კაპილარს ვათავსებდით ლღობის ტემპერატურის გაზომვის ხელსაწყოში და ვზომავდით პიპერაზინის ლღობის ტემპერატურას. ჩვენს მიერ განსაზღვრული პიპერაზინის ლღობის ტემპერატურა მოცემულია ცხრილში 8.

ცხრილი 8. პიპერაზინის ლღობის ტემპერატურის ექსპერიმენტალური განსაზღვრა

ექსპერიმენტის №	ლღობის ტემპერატურა °C	შენიშვნა
ექსპერიმენტი №1	111.7	
ექსპერიმენტი №2	111.9	
ექსპერიმენტი №3	112.0	
ექსპერიმენტი №4	111.8	
ექსპერიმენტი №5	111.9	

რეაქტივის ლღობის ტემპერატურის განსაზღვრის შემდეგ შევუდექით პიპერაზინის ანალიზის მეთოდის დამუშავებას. როგორც ზემოთ აღვნიშ-

ნეთ, პიპერაზინი როგორც ციკლური ორფუმიანი ამინი, მარილმჟავასთან რეაქციაში შესაძლოა შესულიყო ორსაფეხურეობრივად ექვივალენტობის სხვადასხვა წერტილზე. სწორედ ამიტომ საჭირო იყო ექსპერიმენტალური სამუშაოს ჩატარება.

ექვივალენტობის წერტილების დადგენისათვის საჭირო იყო პიპერაზინის ალიქვოტი გატიტრულიყო მჟავით pH-მეტრის გამოყენებით. სატიტრავი ხსნარი მზადდებოდა იმავე თანმიმდევრობით, როგორც ეს იყო მეთილდიეთანოლამინის შემთხვევაში. ტიტრაციისთვის წინასწარ აწონილ ბიუქსში მშრალი აზოტის ატმოსფეროში გადაგვქონდა პიპერაზინი 2-5 გ-ის ოდენობით, ვწონდით ანალიზურ სასწორზე KERN ABG-220-ზე, რაოდენობრივად გადაგვქონდა 250 სმ³ ტევადობის ქიმიურ ჭიქაში, მასში ვათავსებდით მაგნიტს, ვდგამდით მაგნიტურ სარეველაზე და ხსნარში ვათავსებდით pH-მეტრის SARTORIUS PB-11-ის ელექტროდს. სატიტრავი დანადგარის აწყობის შემდეგ ხსნარს ვტიტრავდით ბიურეტიდან და ვაკვირდებოდით მასში pH-ის ცვალებადობას. ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 9.

ცხრილი 9. პიპერაზინის ხსნარის 1 ნ HCl-ით ტიტრაციისას ხსნარში pH-ის ცვალებადობა

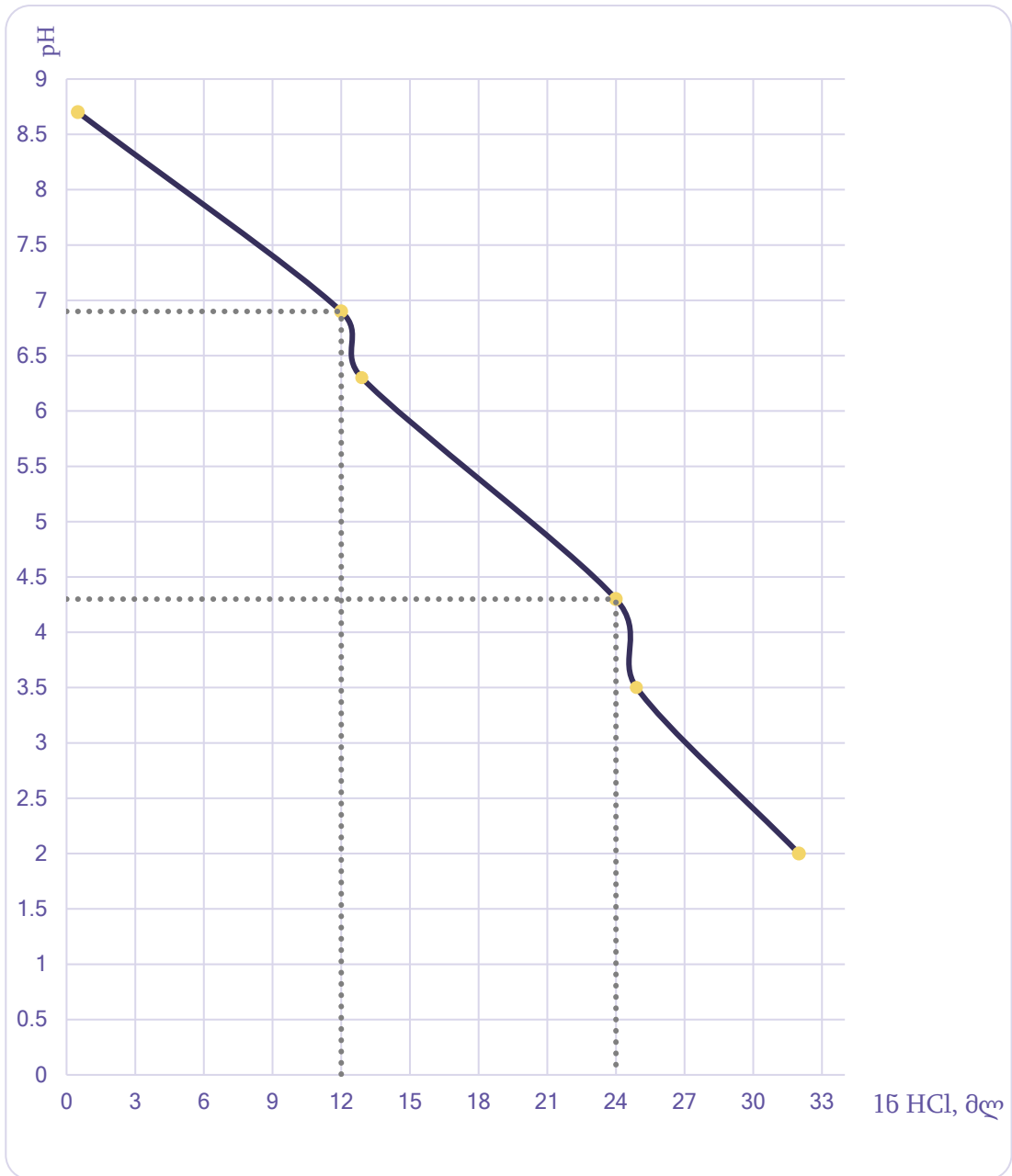
ექსპერიმენტი № 1		ექსპერიმენტი № 2		ექსპერიმენტი № 3	
ტიტრაცია 1 ნ HCl-ით		ტიტრაცია 1 ნ HCl-ით		ტიტრაცია 1 ნ HCl-ით	
მლ	pH	მლ	pH	მლ	pH
2	10.95	2	10.91	2	10.89
4	9.44	4	9.53	4	9.62
6	8.67	6	8.59	6	8.61
8	7.71	8	7.81	8	7.89
10	7.05	10	7.09	10	7.13
12	6.68	12	6.70	12	6.71
14	6.11	14	6.38	14	6.42
16	5.77	16	5.89	16	6.03

ცხრილი 9. გაგრძელება

18	5.28	18	5.37	18	5.63
20	4.96	20	5.00	20	5.12
22	4.58	22	4.63	22	4.73
24	4.22	24	4.19	24	4.20
26	4.13	26	4.10	26	4.12
28	4.01	28	4.00	28	3.99
30	3.96	30	3.79	30	3.76

სატიტრავად აღებული პიპერაზინის მასა იყო: 2.0674გ.

ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგების საფუძველზე ავაგეთ პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაციისას დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე.



ნახაზი 2. პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან და დიაგრამებიდან ჩანს, პიპერაზინის ტიტრაციისას მასსა და მარილმჟავას შორის მიმდინარე რეაქციის ექვივალენტობის წერტილი ორია: პირველი pH=6.7, ხოლო მეორე კი pH=4.2. ამავე დროს პიპერაზინის ტიტრაციისას პირველ საფეხურზე (pH=6.7) დახარჯული 1 ნ HCl-ის რაოდენობა ტოლია მეორე საფეხურზე (pH=4.2) დახარჯული 1 ნ HCl-ის რაოდენობის. ზემოთქმულიდან გამომდინარე შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ პიპერაზინის ორი ფუძიდან ჯერ ერთი რეაქციაში შედის მარილმჟავასთან და ექვივალენტობის წერტილზე pH=6.7

მთავრდება ტიტრაცია, ხოლო მეორე ფუძე კი გატიტრვას ამთავრებს pH=4.2-ზე.

ექვივალენტობის პირველი წერტილისათვის (pH=6.7) ჩვენ უკვე შერჩეული გვექონდა ინდიკატორი ბრომფენოლლურჯი, რომლის ფერის ცვლის დიაპაზონია pH=3.0-4.6. რაც შეეხება მეორე ექვივალენტობის წერტილს (pH=4.2) მისი ინდიკაციისთვის ცნობარიდან ავარჩიეთ შემდეგი ინდიკატორები:

1. კონგოს წითელი ფერის ცვლის pH=3.0-5.2;
2. ბრომკრეზოლ მწვანე ფერის ცვლის pH=3.8-5.4;
3. ბრომფენოლლურჯი ფერის ცვლის pH= 3.0-4.6;
4. მეთილნარინჯი ფერის ცვლის pH=3.1-4.4

ჩამოთვლილი ინდიკატორებიდან ჩვენთვის ხელმისაწვდომი იყო ბრომფენოლლურჯი, რომლის ფერის ცვლა ხორციელდება pH=3.0-4.6 დიაპაზონში. pH<3.0 ხსნარი იღებს ყვითელ შეფერილობას, ხოლო pH>4.6 ხსნარი იღებს ლურჯ შეფერილობას. ამის შემდეგ ჩავატარეთ ექსპერიმენტალური სერია პიპერაზინის 1 ნ HCl-ით ტიტრაციისა როგორც ცალკე ინდიკატორების ბრომთიმოლლურჯისა და ბრომფენოლლურჯის გამოყენებით, ასევე ინდიკატორებისა და pH-მეტრის ერთობლივი გამოყენებით. ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 10 და 11.

ცხრილი 10. პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრისა და ინდიკატორი ბრომთიმოლლურჯის თანაობისას

№	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	ხსნარის pH	ხსნარის შეფერილობა	შენიშვნა
1	2	10.43	ლურჯი	
2	4	10.12	ლურჯი	
3	6	9.91	ლურჯი	
4	8	9.46	ლურჯი	
5	10	9.07	ლურჯი	
6	12	8.81	ლურჯი	
7	14	8.50	მოყვითალო მწვანე	
8	16	8.13	მოყვითალო მწვანე	

ცხრილი 10. გაგრძელება

9	18	6.7	ყვითელი	
10	20	6.1	ყვითელი	
11	22	5.7	ყვითელი	
12	24	5.2	ყვითელი	
13	26	5.0	ყვითელი	
14	28	4.5	ყვითელი	
15	30	4.2	ყვითელი	

ცხრილი 11. პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრისა და ინდიკატორი ბრომფენოლლურჯის თანაობისას

№	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	ხსნარის pH	ხსნარის შეფერილობა	შენიშვნა
1	2	10.54	ლურჯი	
2	4	10.11	ლურჯი	
3	6	9.72	ლურჯი	
4	8	8.97	ლურჯი	
5	10	8.54	ლურჯი	
6	12	8.33	ლურჯი	
7	14	7.71	ლურჯი	
8	16	7.45	ლურჯი	
9	18	7.0	ლურჯი	
10	20	6.7	ლურჯი	
11	22	6.3	ლურჯი	
12	24	6.0	მოყვითალო მწვანე	
13	26	5.2	მოყვითალო მწვანე	
14	28	4.8	მოყვითალო მწვანე	
15	30	4.2	ყვითელი	

ზემოთაღწერილი კვლევების ჩატარების შემდეგ საჭირო იყო პიპერაზინის ტიტრაცია განხორციელებულიყო ბრომთიმოლლურჯისა და ბრომფენოლლურჯის ნარევის მეშვეობით. დასახული ექსპერიმენტალური სამუშაო ჩვენს მიერ იქნა წარმოდგენილი ცხრილში 12.

ცხრილი 12. პიპერაზინის ხსნარის ტიტრაცია pH-მეტრისა და ბრომფენოლლურჯი+ბრომთიმოლლურჯი ნარევის თანაობისას

№	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	ხსნარის pH	ხსნარის შეფერილობა	შენიშვნა
1	2	10.72	ლურჯი	
2	4	10.44	ლურჯი	
3	6	9.97	ლურჯი	

ცხრილი 12. გაგრძელება

4	8	9.19	ლურჯი	
5	10	8.74	ლურჯი	
6	12	8.27	ლურჯი	
7	14	7.53	ლურჯი	
8	16	7.29	ლურჯი	
9	18	6.71	მწვანე	
10	20	6.12	მწვანე	
11	22	5.98	მწვანე	
12	24	5.65	მწვანე	
13	26	5.13	მოყვითალო მწვანე	
14	28	4.71	მოყვითალო მწვანე	
15	30	4.20	მოყვითალო მწვანე	

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს პიპერაზინის ტიტრაციისას pH-მეტრით დაფიქსირებული ექვივალენტობის ორივე წერტილი pH=6.7 და pH=4.2 შესაძლებელია დაფიქსირდეს ინდიკატორული მეთოდით ტიტრაციისას.

კვლევის შემდეგი ეტაპი იყო პიპერაზინის ტიტრაციის შედეგების დამუშავება. პიპერაზინის მოლეკულური მასიდან, ექვივალენტიდან და სატიტრაციო ხსნარის ნორმალობიდან გამომდინარე შევიმუშავეთ შემდეგი საანგარიშო ფორმულა:

$$X = \frac{V \cdot K \cdot 86.14 \cdot N \cdot 100}{m \cdot 1000}$$

სადაც:

V- pH=4.2-მდე გატიტრების დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ³;

K- 1 ნ HCl-ის შესწორების კოეფიციენტი;

86.14- პიპერაზინის მოლეკულური მასა;

N- სატიტრაციო ხსნარის ნორმალობა;

m- საანალიზოდ აღებული პიპერაზინის მასა, გ;

1000- პიპერაზინის ტიტრის გადასაანგარიშებელი რიცხვი.

ზემოთაღნიშნული საანგარიშო ფორმულა იქნებოდა სწორი, როდესაც ტიტრაცია განხორციელდებოდა pH=4.2 ნიშნულზე, ან ინდიკატორი ბრომფენოლლურჯის თანაობისას. ხოლო თუ ტიტრაცია განხორციელდებოდა pH=6.7 ნიშნულზე, ან ინდიკატორი ბრომთიმოლლურჯის თანაობისას მაშინ

ფორმულა იქნებოდა მცდარი. ამ უკანასკნელი შემთხვევისათვის საანგარიშო ფორმულა მიიღებდა შემდეგ სახეს:

$$X = \frac{2 \cdot V \cdot K \cdot 86.14 \cdot N \cdot 100}{m \cdot 1000}$$

სადაც:

V- pH=6.7-მდე გატიტრისას დახარჯული 1 ნ HCl -ის მოცულობა, სმ³;

K- 1 ნ HCl-ის შესწორების კოეფიციენტი;

86.14- პიპერაზინის მოლეკულური მასა;

N- სატიტრაციო ხსნარის ნორმალობა;

m- საანალიზოდ აღებული პიპერაზინის მასა,გ;

1000- პიპერაზინის ტიტრის გადასაანგარიშებელი რიცხვი.

წარმოდგენილი ფორმულები შეგვიძლია გავამარტივოთ, თუ დავუშვებთ რომ ტიტრაცია ყოველთვის 1 ნ HCl-ით იქნება განხორციელებული, მაშინ ფორმულაში არსებული ცვლადი N გაუტოლდება 1-ს და ფარდობა:

$$\frac{V \cdot 86.14}{1000} = T = \frac{1 \cdot 86.14}{1000} = 0.08614$$

შესაბამისად საანგარიშო ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

pH = 4.2-სთვის:

$$X = \frac{V \cdot K \cdot 0.08614 \cdot 100}{m},$$

pH = 6.7-სთვის:

$$X = \frac{2V \cdot K \cdot 0.08614 \cdot 100}{m},$$

სადაც:

0.08614 არის პიპერაზინის ტიტრი 1 ნ HCl-ის გამოყენებისას, ანუ პიპერაზინის მასა, რომელიც შეესაბამება 1 სმ³, 1 ნ HCl-ს pH=4.2 ნიშნულზე ტიტრაციისას.

იმის დასადასტურებლად, რომ ტიტრაციის პროცესი, ექვივალენტობის ჩვენს მიერ დადგენილი წერტილები და საანგარიშო ფორმულები სწორადაა განსაზღვრული, ჩავატარეთ პიპერაზინის (რეაქტივის) სხვადასხვა ალიქვოტის ტიტრაცია როგორც ინდიკატორების ბრომთიმოლლურჯისა და ბრომფენოლლურჯის ნარევის, ასევე pH-მეტრის გამოყენებით. ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის შესაბამისად შემუშავებული საანგარიშო

ფორმულებით დავიანგარიშეთ პიპერაზინის კონცენტრაცია რეაქტივში. ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 13 და 14.

ცხრილი 13. ანალიზის შედეგები ინდიკატორების ნარევის (ბრომფენოლლურჯი+ბრომთიმოლლურჯი) გამოყენებით

№	გასატიტრად აღებული პიპერაზინის მასა, გ	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	პიპერაზინის კონცენტრაცია, %	აბსოლუტური ცდომილება, +/-	შენიშვნა
1	2.0266	11.7	99.46	-0.04	pH=6.70
2	2.0784	12.0	99.47	-0.03	pH=6.71
3	2.1637	25.0	99.53	+0.03	pH=4.22
4	2.0780	24.0	99.49	-0.01	pH=4.21
5	3.0644	17.7	99.51	+0.01	pH=6.72
6	3.1324	18.1	99.55	+0.05	pH=6.69
7	3.0310	35.0	99.47	-0.03	pH=4.20
8	3.0202	34.9	99.54	+0.04	pH=4.23
9	4.0359	23.3	99.46	-0.04	pH=6.70
10	4.1361	23.9	99.55	+0.05	pH=6.73
11	4.0174	46.4	99.49	-0.01	pH=4.22
12	4.0500	46.8	99.54	+0.04	pH=4.19
13	5.1419	29.7	99.51	+0.01	pH=6.70
14	5.0919	29.3	99.48	-0.02	pH=6.71
15	5.3096	61.3	99.45	-0.05	pH=4.21
16	5.0589	58.4	99.44	-0.06	pH=4.21

ცხრილი 14. პიპერაზინის ანალიზის შედეგები pH-მეტრის გამოყენებით

№	გასატიტრად აღებული პიპერაზინის მასა, გ	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	პიპერაზინის კონცენტრაცია, %	აბსოლუტური ცდომილება, +/-	შენიშვნა
1	2.0602	11.9	99.51	+0.01	pH=6.70
2	2.1126	12.2	99.49	-0.01	pH=6.69
3	2.1899	25.3	99.52	+0.02	pH=4.19
4	2.2245	25.7	99.52	+0.02	pH=4.21
5	3.0133	17.4	99.48	-0.02	pH=6.71
6	3.0811	17.8	99.53	+0.03	pH=6.70
7	3.0223	34.9	99.47	-0.0	pH=4.18
8	3.0127	34.8	99.50	+0.01	pH=4.21
9	4.0512	23.4	99.51	-0.02	pH=6.72
10	4.1390	23.9	99.48	-0.01	pH=6.70
11	4.0693	47.0	99.49	-0.01	pH=4.22
12	4.0941	47.3	99.52	+0.02	pH=4.23
13	5.0905	29.4	99.50	+0.0	pH=6.71
14	5.0044	28.9	99.49	-0.01	pH=6.70
15	5.0396	58.2	99.48	-0.02	pH=4.18
16	5.0029	57.8	99.52	+0.02	pH=4.19

როგორც წარმოდგენილი ცხრილებიდან (ცხრილი 13, ცხრილი 14) ჩანს, პიპერაზინის გატიტრისათვის გამოყენებული ბრომთიმოლლურჯისა და ბრომფენოლლურჯის ნარევი, ასევე ექვივალენტობის დადგენილი წერტილები (pH=6.7 და pH=4.2) და საანგარიშო ფორმულა სწორადაა განსაზღვრული. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ტიტრაციის ინდიკატორული მეთოდის შემთხვევაში ცდომილება უფრო მეტია, ვიდრე pH-მეტრის გამოყენებისას.

2.5.1.3. მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის სხვადასხვა თანაფარდობით აღებული ნარევების ანალიზის მეთოდის შემუშავება

იმის შემდეგ, რაც ჩვენს მიერ დადგენილი იქნა მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის მჟავით ნეიტრალიზაციის ექვივალენტობის წერტილები და საანალიზო ფორმულები, შევუდევით მათი წყალხსნარების და

ურთიერთნარევების ანალიზის მეთოდების შემუშავებას. ამ კვლევების ჩატარებით შესაძლებლობა მოგვეცემოდა დაგვედასტურებინა რომ პიპერაზინის და მეთილდიეთანოლამინის ურთიერთნარევებში ისინი ისევ ექვემდებარებიან მჟავით ტიტრაციას, როგორც ინდივიდუალურ შემთხვევაში. ასევე დასადგენი იყო ხომ არ მოხდებოდა ექვივალენტობის წერტილების გადანაცვლება მათი ურთიერთგავლენის შედეგად.

საწყის ეტაპზე დავიწყეთ წყალხსნარების ანალიზების შესრულებით როგორც ინდიკატორული მეთოდით, ასევე pH-მეტრის გამოყენებით. ამისათვის მეთილდიეთანოლამინს, ან პიპერაზინს ვიღებდით განსაზღვრული რაოდენობით, რომელსაც ვხსნიდით გათვლილი რაოდენობის დისტილირებულ წყალში, რომელსაც ვიღებდით ასევე წონით. მიღებული ცნობილი პროცენტული შედგენილობის ხსნარს ვაანალიზებდით როგორც ინდიკატორული მეთოდით, ასევე pH-მეტრის გამოყენებით. ჩვენს მიერ შესრულებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 15 და 16.

ცხრილი 15. მეთილდიეთანოლამინისაგან მომზადებული ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების ქიმიური ანალიზის შედეგები

№	მდეა, გ	წყალი, გ	ხსნარის კონცენტრაცია, %		
			გამოთვლილი	გაანალიზებული	
				ბრომთიმოლურჯით	pH-მეტრით
1	5.0	95.0	4.95	4.77	5.00
2	10.0	90.0	9.90	9.52	9.91
3	15.0	85.0	14.85	15.49	14.86
4	20.0	80.0	19.80	19.49	19.83
5	25.0	75.0	24.75	24.69	24.79
6	30.0	70.0	29.70	29.39	30.07
7	35.0	65.0	34.65	34.22	34.39
8	40.0	60.0	39.6	40.28	40.10
9	45.0	55.0	44.55	44.22	44.49
10	50.0	50.0	49.50	49.37	49.87
11	55.0	45.0	54.45	55.25	54.81
12	60.0	40.0	59.4	60.53	60.11

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს, მეთილდიეთანოლამინის ანალიზის ორივე, როგორც ინდიკატორული ასევე pH-მეტრით მეთოდები მისაღებია. ამავე დროს აღსანიშნავია, რომ pH-მეტრით ჩატარებული ანალიზები, ინდიკატორულ მეთოდთან შედარებით ზუსტია.

ცხრილი 16. პიპერაზინისაგან მომზადებული ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარების ქიმიური ანალიზის შედეგები

№	პიპერაზინი გ	წყალი, გ	ხსნარის კონცენტრაცია, %		
			გამოთვლილი	გაანალიზებული	
				ბრომთიმოლურჯით	pH-მეტრით
1	2.5	97.5	2.4875	2.41	2.49
2	5.0	95.0	4.9750	4.61	4.92
3	7.5	92.5	7.4625	7.48	7.46
4	10.0	90.0	9.9500	10.29	10.12
5	12.5	87.5	12.4375	12.23	12.44
6	15.0	85.0	14.9250	14.56	15.22
7	17.5	82.5	17.4125	17.36	17.41
8	20.0	80.0	19.9000	19.68	20.07
9	22.5	77.5	22.3875	22.00	22.43
10	25.0	75.0	24.8750	25.41	25.10
11	27.5	72.5	27.3625	27.55	27.4
12	30.0	70.0	29.8500	29.63	29.93

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს, პიპერაზინის ანალიზის ორივე მეთოდი მისაღებია. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ pH-მეტრით ჩატარებული ანალიზები, ინდიკატორულთან შედარებით უფრო ზუსტია.

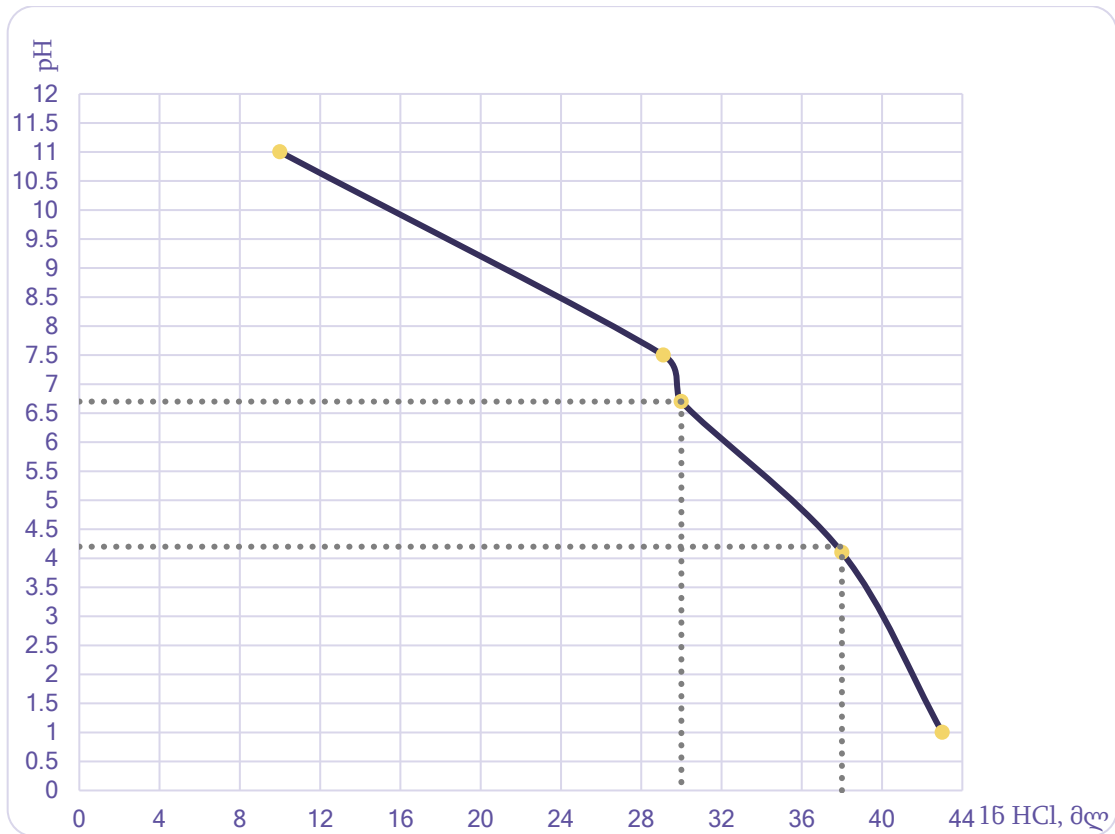
ამის შემდეგ შევუდექით მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ცნობილი კონცენტრაციის ნარეგების მომზადებას. ნარეგების დამზადების დროს გათვალისწინებული იყო, რომ ტექნოლოგიურ პროცესში გამოყენებული აბსორბენტის შედგენილობაში მეთილდიეთანოლამინის შემცველობა 30-60%-ის ფარგლებში შეიძლება იმყოფებოდეს, ხოლო პიპერაზინისა კი 5-25%-ის ფარგლებში. ამიტომ მოდელური ხსნარების შედგენილობის ვარიაცია ფართო დიაპაზონში განვახორციელეთ. რადგანაც მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარეგზე ექვივალენტობის წერტილები არ იყო დადგენილი, საწყის ეტაპზე ექსპერიმენტალური სამუშაოები ჩავატარეთ სწორედ ექვივალენტობის წერტილის დადგენის მიმართულებით. ამისათ-

ვის ანალიზურ სასწორზე KERN ვწონილით მშრალ ბიუქსს თავსახურით, ვინიშნავდით მის წონას, შემდეგ მშრალი აზოტის ატმოსფეროში მასში ვათავსებდით განსაზღვრული რაოდენობის პიპერაზინს, ვახურავდით თავსახურს და კვლავ ვწონილით. ამ მანიპულაციებით ვადგენდით აღებული პიპერაზინის ზუსტ წონას. ამის შემდეგ სხვა ბიუქსში ვწონილით განსაზღვრული რაოდენობის მეთილდიეთანოლამინს და ორივე წონაკს ჩავრეცხავდით რაოდენობრივად ცნობილი, წინასწარ აწონილი დისტილირებული წყლით. აღნიშნული მანიპულაციით შესაძლებელი ხდებოდა მომზადებულ ხსნარში ზუსტად გვცოდნოდა როგორც მეთილდიეთანოლამინის, ასევე პიპერაზინის შემცველობა. ამის შემდეგ მიღებული ხსნარის 2-5 გ გადაგვქონდა 250 სმ³ ტევადობის ქიმიურ ჭიქაში, მასში ვათავსებდით მაგნიტს, ვასხამდით 100 სმ³ დისტილირებულ წყალს, ვდგამდით მაგნიტურ სარეველაზე და ხსნარში ვათავსებდით წინასწარ დაკალიბრებული pH-მეტრის SARTORIUS PB-11-ის ელექტროდს. დანადგარის აწყობის შემდეგ ხსნარს ვტიტრავდით 1 ნ HCl-ით, რომლის შესწორების კოეფიციენტი ჩვენს მიერ იყო დადგენილი ზუსტად 1 ნ NaOH-ის ხსნარით, რომელიც თავის მხრივ მომზადებული იყო ფიქსანალიდან. ტიტრაციის პროცესში ვაკვირდებოდით ხსნარის pH-ის ცვალეზადობას. ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 17.

მიღებული შედეგების საფუძველზე ავაგეთ მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის ტიტრაციისას დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულების დიაგრამა.

ცხრილი 17. მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის 1 ნ HCl-ით ტიტრაციისას ხსნარში pH- ის ცვალებადობა (მდგეა- 50.0% ; პიპერაზინი 15.0 %)

ექსპერიმენტი № 1		ექსპერიმენტი № 2		ექსპერიმენტი № 3	
ტიტრაცია 1 ნ HCl- ით		ტიტრაცია 1 ნ HCl-ით		ტიტრაცია 1 ნ HCl-ით	
მლ	pH	მლ	pH	მლ	pH
2	10.92	2	10.98	2	10.95
4	10.54	4	10.70	4	10.73
6	10.12	6	10.28	6	10.41
8	9.74	8	10.01	8	10.22
10	9.27	10	9.64	10	9.94
12	8.92	12	9.21	12	9.36
14	8.43	14	8.91	14	8.97
16	8.01	16	8.54	16	8.44
18	7.80	18	8.00	18	8.12
20	7.40	20	7.83	20	7.89
22	6.98	22	7.51	22	7.72
24	9.92	24	7.06	24	7.18
26	6.82	26	6.99	26	7.00
28	6.76	28	6.84	28	6.80
30	6.71	30	6.72	30	6.69
32	6.19	32	6.01	32	6.23
34	5.76	34	5.61	34	5.58
36	4.98	36	5.03	36	5.00
38	4.22	38	4.20	38	4.19
40	4.20	40	4.15	40	4.12



ნახაზი 3. მეთილდიეთანოლამინის და პიპერაზინის ნარევის ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან და დიაგრამიდან ჩანს, მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის ტიტრაციისას დაფიქსირებულია ექვივალენტობის 2 წერტილი, ერთი $\text{pH}=6.7$ -ზე, ხოლო მეორე კი $\text{pH}=4.2$ -ზე. რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის ტიტრაციისას ექვივალენტობის პირველ წერტილზე ($\text{pH}=6.7$) იტიტრება მეთილდიეთანოლამინი სრულად და პიპერაზინის ნახევარი, ხოლო ექვივალენტობის მეორე წერტილზე კი იტიტრება პიპერაზინის დარჩენილი მეორე ნახევარი. ზემოთაღწერილი ექსპერიმენტი გამეორებულ იქნა ინდიკატორების ბრომთიმოლლურჯისა და ბრომფენოლლურჯის ნარევის გამოყენებით, რომელშიც პარალელურად ისაზღვრებოდა ხსნარის pH-იც. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 17.

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს ინდიკატორების ბრომთიმოლლურჯისა და ბრომფენოლლურჯის ნარევის გამოყენებით მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის მარილმჟავათი ტიტრაციისას

დადგენილ ექვივალენტობის წერტილებში ხორციელდება ხსნარის შეფერილობის ცვლილება.

კვლევის შემდეგი ეტაპი იყო მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის ტიტრაციისას მიღებული შედეგების დამუშავება. შედეგების დამუშავებისას უნდა გვეხელმძღვანელა იმ თვისებით, რასაც აღნიშნული ნარევი ავლენდა, კერძოდ, ტიტრაციისას პირველ ექვივალენტობის წერტილზე,

ცხრილი 18. მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ტიტრაცია pH- მეტრისა და ინდიკატორების ბრომფენოლლურჯისა და ბრომთიმოლლურჯის ნარევის გამოყენებით

№	ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ ³	ხსნარის pH	ხსნარის შეფერილობა	შენიშვნა
1	2	10.94	ლურჯი	
2	4	10.23	ლურჯი	
3	6	10.02	ლურჯი	
4	8	9.87	ლურჯი	
5	10	9.81	ლურჯი	
6	12	9.47	ლურჯი	
7	14	9.06	ლურჯი	
8	16	8.82	ლურჯი	
9	18	8.51	ლურჯი	
10	20	8.00	მოყვითალო მწვანე	
11	22	7.79	მოყვითალო მწვანე	
12	24	7.51	მოყვითალო მწვანე	
13	26	7.28	მოყვითალო მწვანე	
14	28	6.82	მოყვითალო მწვანე	
15	30	6.69	მწვანე	
16	32	6.42	მწვანე	
17	34	5.98	მწვანე	
18	36	5.31	ღია მწვანე	
19	38	4.54	ღია მწვანე	
20	40	4.21	ყვითელი	

როდესაც ხსნარის pH=6.70, იტიტრებოდა მეთილდიეთანოლამინი სრულად და პიპერაზინის ნახევარი, ხოლო მეორე ექვივალენტობის წერტილზე, როდესაც ხსნარის pH=4.20, ამ დროს იტიტრებოდა პიპერაზინის დანარჩენი მეორე ნახევარი. ცხადია რომ პირველ ექვივალენტობის წერტილსა და მეორე ექვივალენტობის წერტილს შორის დახარჯული 1 ნ HCl-ის რაოდენობა შეესაბამებოდა მხოლოდ პიპერაზინის მასის ნახევარს. რაც

შეეხება მეთილდიეთანოლამინის შემცველობას, მისი გაანგარიშებისთვის უნდა გაგვეთვალისწინებინა ის რომ ექვივალენტობის პირველ წერტილზე (pH=6.7) დახარჯული მჟავას რაოდენობა შედგებოდა მეთილდიეთანოლამინსა და 1/2 პიპერაზინზე დახარჯული მჟავისგან, ამიტომ მეთილდიეთანოლამინს შეესაბამებოდა ექვივალენტობის პირველ წერტილზე დახარჯული მჟავის რაოდენობის გაორმაგებულ რაოდენობასა და პიპერაზინის ტიტრაციაზე (pH=4.2) დახარჯული მჟავას მოცულობებს შორის სხვაობა. აქედან გამომდინარე საანგარიშო ფორმულებს ექნებათ შემდეგი სახე:

$$\text{პიპერაზინი} = \frac{(V_2 - V_1) \cdot N \cdot K \cdot 86.14 \cdot 100}{m \cdot 1000}$$

$$\text{მეთილდიეთანოლამინი} = \frac{(2V_1 - V_2) \cdot N \cdot K \cdot 119.16 \cdot 100}{m \cdot 1000}$$

სადაც:

V₁- მარილმჟავას ხსნარის რაოდენობა, რომელიც დაიხარჯა ტიტრაციაზე პირველი ექვივალენტობის წერტილზე (pH=6.7), სმ³;

V₂- მარილმჟავას ხსნარის რაოდენობა, რომელიც დაიხარჯა ტიტრაციაზე მეორე ექვივალენტობის წერტილზე (pH=4.2), სმ³;

N - მარილმჟავას ხსნარის ნორმალობა;

K - მარილმჟავას ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

d - საანალიზოდ აღებული ხსნარის ხვედრითი წონა, გ/სმ³;

86.14 - პიპერაზინის მოლური მასა, გ/მოლი;

119.16 - მეთილდიეთანოლამინის მოლური მასა, გ/მოლი;

m- სინჯის მასა, გ;

1000-მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ტიტრის გამოსაანგარიშებელი რიცხვი.

წარმოდგენილი ფორმულები შეგვიძლია გავამარტივოთ, თუ დავუშვებთ, რომ ტიტრაცია ყოველთვის 1 ნ მარილმჟავით იქნება განხორციელებული, მაშინ საანგარიშო ფორმულებში არსებული ფარდობები გამარტივდება.

$$\frac{119,16 \cdot N}{1000} = T = 0.11916$$

$$\frac{86.14 \cdot N}{1000} = T = 0.08614$$

ხოლო საანგარიშო ფორმულები მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\text{მეთილდიეთანოლამინი} = \frac{(2V_1 - V_2) \cdot K \cdot 0.11916}{m} \cdot 100$$

$$\text{პიპერაზინი} = \frac{(V_2 - V_1) \cdot K \cdot 0.08614}{m} \cdot 100$$

იმის დასადასტურებლად, რომ ტიტრაციის პროცესი, ექვივალენტობის ჩვენს მიერ დადგენილი წერტილები და საანგარიშო ფორმულები სწორადაა განსაზღვრული, ჩავატარეთ მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის მოდელური ხსნარების ქიმიური ანალიზი როგორც pH-მეტრის გამოყენებით, ასევე ინდიკატორების ბრომთიმოლლურჯისა და ბრომფენოლლურჯის ნარევის გამოყენებით. ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 19.

ცხრილი 19. მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ცნობილი კონცენტრაციის ნარევის ქიმიური ანალიზის შედეგები

#	მოდელური ხსნარის მომზადება			ხსნარის კონცენტრაცია, %					
	მდგა ბ	პიპერაზინი გ	წყალი ბ	გამოთვლილი		ინდიკატორებით		pH-მეტრით	
				მდგა	პიპერაზინი	მდგა	პიპერაზინი	მდგა	პიპერაზინი
1	30.0	3.0	67.0	29.70	2.985	29.51	2.68	29.75	2.93
2	30.0	6.0	64.0	29.70	5.970	29.60	5.45	29.73	5.95
3	30.0	9.0	61.0	29.70	8.955	29.12	8.89	29.78	8.93
4	30.0	12.0	58.0	29.70	11.940	29.19	11.78	29.82	11.98
5	30.0	15.0	55.0	29.70	14.925	29.29	14.81	29.83	15.00
6	35.0	3.0	62.0	34.65	2.985	34.21	2.91	34.46	2.99
7	35.0	6.0	59.0	34.65	5.970	34.42	5.77	34.58	6.00
8	35.0	9.0	56.0	34.65	8.955	34.11	8.99	34.63	8.98
9	35.0	12.0	53.0	34.65	11.940	34.08	11.63	34.61	12.02
10	35.0	15.0	50.0	34.65	14.925	34.74	14.79	34.48	14.91
11	40.0	3.0	57.0	39.60	2.985	39.38	3.07	39.46	2.93
12	40.0	6.0	54.0	39.60	5.970	39.21	6.21	39.51	5.96
13	40.0	9.0	51.0	39.60	8.955	39.72	8.45	39.49	8.96
14	40.0	12.0	48.0	39.60	11.940	39.69	11.33	39.63	11.92

ცხრილი 19. გაგრძელება

15	40.0	15.0	45.0	39.60	11.940	39.12	14.36	39.68	14.96
16	45.0	3.0	52.0	44.55	2.985	44.05	3.18	44.12	2.91
17	45.0	6.0	49.0	44.55	5.970	44.69	5.53	44.39	5.99
18	45.0	9.0	46.0	44.55	8.955	44.73	9.08	44.61	8.93
19	45.0	12.0	43.0	44.55	11.940	44.31	11.45	44.52	11.97
20	45.0	15.0	40.0	44.55	14.925	44.39	14.77	44.50	14.95
21	50.0	3.0	47.0	49.50	2.985	49.03	3.21	49.63	2.98
22	50.0	6.0	44.0	49.50	5.970	49.18	6.18	49.53	5.96
23	50.0	9.0	41.0	49.50	8.955	49.58	8.36	49.48	9.00
24	50.0	12.0	38.0	49.50	11.940	49.65	11.54	49.47	11.91
25	50.0	15.0	35.0	49.50	14.925	49.69	15.30	49.50	14.96
26	55.0	3.0	42.0	54.45	2.985	54.23	2.45	54.47	2.99
27	55.0	6.0	39.0	54.45	5.970	54.18	5.49	54.53	5.99
28	55.0	9.0	36.0	54.45	8.955	54.70	9.21	54.60	8.97
29	55.0	12.0	33.0	54.45	11.940	54.66	11.28	54.51	11.98
30	55.0	15.0	30.0	54.45	14.925	54.77	15.31	54.49	14.94
31	60.0	3.0	37.0	59.40	2.985	59.21	2.79	59.43	3.00
32	60.0	6.0	34.0	59.40	5.970	59.08	6.19	59.35	6.03
33	60.0	9.0	31.0	59.40	8.955	59.66	9.17	59.31	8.93
34	60.0	12.0	28.0	59.40	11.940	59.49	11.54	59.45	11.92
35	60.0	15.0	25.0	59.40	14.925	59.27	14.71	59.38	14.96

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს, მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის სხვადასხვა კონცენტრაციის მოლური ნარევის ანალიზისას როგორც ინდიკატორების ნარევით (ბრომთიმოლლურჯი + ბრომფენოლ-ლურჯი) ასევე pH-მეტრის გამოყენებით ანალიზის მეთოდები მისაღებია. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ pH-მეტრით ჩატარებული ანალიზები, ინდიკატორულ მეთოდთან შედარებით უფრო ზუსტია.

2.5.1.4. კომპანია DOW-ს მიერ შემოთავაზებული საერთო ამინების განსაზღვრის ანალიზის მეთოდის მიხედვით მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ოპტიმალური კონცენტრაციების გამოთვლა

ამიაკის წარმოებაში მონოეთანოლამინის პიპერაზინით აქტივირებული მეთილდიეთანოლამინით ჩანაცვლების შემდეგ ცხადია საჭირო იყო ანალიზის მეთოდები, რომლითაც განხორციელდებოდა კონვერტირებული აირის CO₂-სგან გაწმენდის სტადიაზე აბსორბენტის კონცენტრაციის ანალიზური კონტროლი. აქტივირებული აბსორბენტის მწარმოებელი კომპანია არ ასახელებდა მოწოდებული აბსორბენტის სრულ ქიმიურ შედგენილობას, რადგანაც ეს მისი კომერციული საიდუმლო იყო და არ სურდა მის მიერ შექმნილი ორკომპონენტიანი ნარევის შედგენილობა სხვა მწარმოებელი კომპანიებისთვის ყოფილიყო ცნობილი. ამიტომ მათ მიერ შემოთავაზებული იქნა როგორც ნედლეულში, ასევე ტექნოლოგიურ პროცესში გამოყენებული აბსორბენტი საერთო ამინების განსაზღვრის მეთოდი. აღნიშნული მეთოდი ითვალისწინებდა ალიქვოტის გატიტვრას ცნობილი კონცენტრაციის მარილმჟავით pH-მეტრის გამოყენებით, სადაც ექვივალენტობის წერტილი მითითებული იყო pH=4.2. რაც შეეხება შედეგების დამუშავებას, მათ მიერ მოწოდებული იყო შემდეგი საანგარიშო ფორმულა:

$$X = \frac{V \cdot K \cdot N \cdot 91.02 \cdot 100}{W \cdot d \cdot 1000}$$

სადაც:

V- ტიტრაციაზე დახარჯული ცნობილი ნორმალობის HCl-ის მოცულობა, სმ³;

K- ცნობილი ნორმალობის HCl-ის შესწორების კოეფიციენტი;

N- მარილმჟავას ხსნარის ნორმალობა;

d- საანალიზო ხსნარის კუთრი წონა , გ/სმ³;

W- საანალიზოდ აღებული ხსნარის მოცულობა, სმ³;

91.02-საერთო ამინების ჯამური რაოდენობა ხსნარში, რომელიც შეესაბამება 1 მოლ მარილმჟავას.

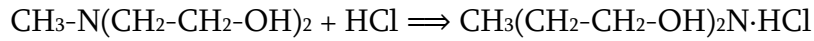
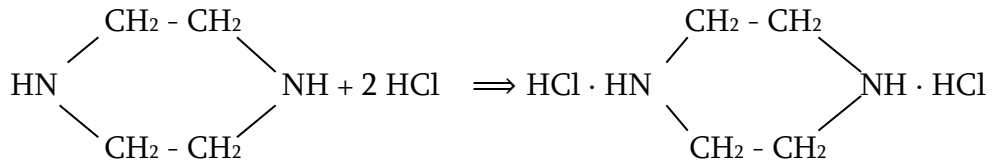
საანგარიშო ფორმულაში მოყვანილი რიცხვი 91.02 იყო საექვო, რადგან მეთილდიეთანოლამინის მოლური მასა 119.16 გ/მოლი, ხოლო პიპერაზინის მოლური მასა კი 84.14 გ/მოლი. ამდენად საანგარიშო ფორმულაში მოყვანი-

ლი რიცხვი არც ერთი შემადგენელი კომპონენტის მოლური მასიდან არ გამოდინარეობდა. თუ ჩავთვლიდით, რომ აქტივირებულ აბსორბენტში საერთო ამინების შემცველობა 50:50-ზე იმყოფებოდა მაშინ საანგარიშო ფორმულაში იქნებოდა $(119.16+84.14)/2 = 101.65$, ნაცვლად 91,02-ისა. აქედან გამომდინარე გავაკეთეთ დასკვნა, რომ აღნიშნული საანგარიშო ფორმულა სწორი იქნებოდა მხოლოდ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც აქტივირებულ აბსორბენტში თანაფარდობა მეთილდიეთანოლამინი: პიპერაზინი იქნებოდა დადგენილი, ყველა სხვა თანაფარდობის შემთხვევაში ფორმულა მოგვცემდა მცდარ შედეგებს. ამის შემდეგ მიზნად დავისახეთ დაგვედგინა (ან გამოგვეთვალა) თუ ხსნარში რა კონკრეტული თანაფარდობისთვის ჩადო მწარმოებელმა კომპანიამ საანგარიშო რიცხვი 91.02.

საანგარიშო ფორმულაში მოყვანილი ფარდობა 1 ნ HCl-ით ტიტრაციისას:

$$\frac{N \cdot 91.02}{1000} = T = \frac{1 \cdot 91.02}{1000} = 0.09102$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ 1 სმ³ 1 ნ HCl-ს უნდა შეესაბამებოდეს 0.09102 გ მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევი საერთო ამინებზე გადათვლით. გამოთვლებით დავადგინეთ, რომ ტიტრი 0.09102 მაშინაა მართებული, თუ საერთო ამინებიდან 82.5%-მეთილდიეთანოლამინი, ხოლო 17.5% პიპერაზინია. ამის შესამოწმებლად ავიღეთ ასეთი მოცემულობა: დავუშვით, რომ აქტივირებულ აბსორბენტში საერთო ამინების შემცველობა არის 50%, საანალიზოდ აღებული იქნა 5 გ მასის ალიქვოტი და გაიტიტრა 1 ნ HCl-ით, რომლის შესწორების კოეფიციენტი K=1. შედგენილობის მიხედვით 50% საერთო ამინებიდან 2.5 გ იქნებოდა 100% -იანი ამინების ნარევი, ხოლო ამ 2.5 გ-დან $(2.5 \cdot 17.5)/100 = 0.438$ გ იქნებოდა პიპერაზინი ამ დაშვების მიხედვით შეგვიძლია რეაქციის განტოლებებზე დაყრდნობით გამოვითვალოთ დახარჯული 1 ნ HCl-ის მოცულობები თითოეული მათგანისთვის.



როგორც რეაქციის განტოლებებიდან ჩანს მეთილდიეთანოლამინის გატიტვრაზე დაიხარჯებოდა 0.6319 გ 100% -იანი HCl, ხოლო პიპერაზინის გატიტვრაზე კი 0.3712 გ 100%-იანი HCl. ანუ ჯამში 0.6319+0.3712=1.0031 გ 100%-იანი HCl. რადგანაც ტიტრაციისათვის განსაზღვრულია 1 ნ HCl, მაშინ 0.9958 გ 100%-იანი HCl იქნება (1,0031x1000)/36.5= 27.48გ. თუ გაანგარიშებულ რიცხვს შევიტანთ მოწოდებულ საანგარიშო ფორმულაში მივიღებთ:

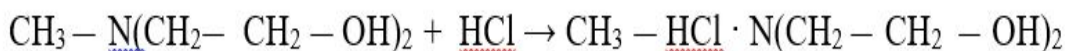
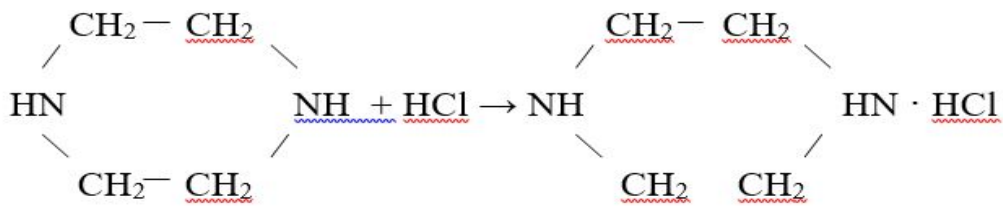
$$\text{საერთო ამინები} = \frac{27.48 \cdot 91.02 \cdot 100}{5 \cdot 1000} = 50.01\%$$

საანგარიშო ფორმულით მივიღეთ ის კონცენტრაცია რაც დავუშვით, ამდენად დადგენილი თანაფარდობა მეთილდიეთანოლამინი:პიპერაზინი= 82.5:17.5 - სწორია.

2.5.1.5. ამიაკის წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ანალიზის მეთოდი

მეთილდიეთანოლამინის წყალხსნარში პიპერაზინის და მეთილდიეთანოლამინის განსაზღვრა: მეთოდი დამყარებულია მეთილდიეთანოლამინის ხსნარის 1 ნ HCl-ის ხსნარით ნეიტრალიზაციის პროცესზე, რომელიც მიმდინარეობს ორ საფეხურად:

1. პიპერაზინის განსაზღვრა :



$$M(C_5H_{13}O_2N) = 119.16 \text{ გ/მოლი.}$$

ანალიზის მსვლელობა: 250 სმ³ ტევადობის კონუსურ კოლბაში იღებენ 1 სმ³ საანალიზო ხსნარს 50 სმ³ გამოხდილ წყალთან ერთად, კარგად შეანჯღრევენ და უმატებენ 3-4 წვეთ 1%-იან ინდიკატორ ბრომთიმოლურჯს, ხსნარი იღებს ცისფერ შეფერილობას. ტიტრავენ 1 ნ მარილმჟავას ხსნარით ცისფერი შეფერილობიდან ყვითელი ფერის წარმოქმნამდე (ჩაინიშნავენ გატიტვრაზე წასული 1 ნ მარილმჟავას რაოდენობას V_1), შემდეგ ისევ იმავე კოლბაში ამატებენ 3-4 წვეთ 0.1%-იან ინდიკატორ ბრომფენოლურჯს, ხსნარი მიიღებს იისფერს და აგრძელებენ გატიტვრას ყვითელი ფერის წარმოქმნამდე (ჩაინიშნავენ გატიტვრაზე წასული 1 ნ მარილმჟავას მთლიან რაოდენობას - V_2).

პირველ გატიტვრაზე წასული 1 ნ მარილმჟავას რაოდენობით ანგარიშობენ პიპერაზინის შემცველობას შემდეგი ფორმულით:

$$\text{პიპერაზინი} = \frac{(V_2 - V_1) \cdot N \cdot K \cdot 86.14 \cdot 100}{V \cdot d \cdot 1000}$$

სადაც:

V -საანალიზოდ აღებული ხსნარის რაოდენობა, სმ³;

V_2 -გატიტვრაზე დახარჯული 1 ნ მარილმჟავას მთლიანი რაოდენობა;

V_1 -გატიტვრაზე დახარჯული 1 ნ მარილმჟავას რაოდენობა (პირველ გატიტვრაზე);

N - 1 ნ მარილმჟავას ნორმალობა;

K - 1 ნ მარილმჟავას შესწორების კოეფიციენტი;

86.14- პიპერაზინის რაოდენობა, გ , რომელიც შეესაბამება 1 ნ მარილმჟავას 1 სმ³;

d -საანალიზოდ აღებული ხსნარის ხვედრითი წონა.

გატიტვრაზე წასული 1 ნ მარილმჟავას მთლიანი რაოდენობით ანგარიშობენ მეთილდიეთანოლამინის შემცველობას შემდეგი ფორმულით:

$$\text{მეთილდიეთანოლამინი} = \frac{(2V_2 - V_1) \cdot N \cdot K \cdot 119.16 \cdot 100}{V \cdot d \cdot 1000}$$

სადაც:

V -საანალიზოდ აღებული ხსნარის რაოდენობა, სმ³;

V_2 -გატიტვრაზე დახარჯული 1 ნ მარილმჟავას მთლიანი რაოდენობა;

V_1 -გატიტვრაზე დახარჯული 1 ნ მარილმჟავას რაოდენობა (პირველ გატიტვრაზე);

N - 1 ნ მარილმჟავას ნორმალობა;

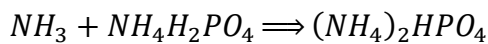
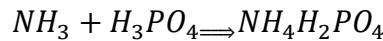
K - 1 ნ მარილმჟავას შესწორების კოეფიციენტი;

119.16- მეთილდიეთანოლამინის რაოდენობა, გ , რომელიც შეესაბამება 1 ნ მარილმჟავას 1 სმ³;

d -საანალიზოდ აღებული ხსნარის ხვედრითი წონა.

2.6. ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტების ქიმიური ანალიზის მეთოდების შემუშავება

როგორც ლიტერატურული მიმოხილვის ნაწილში აღვნიშნავთ, ციანმჟავას წარმოება ფეთქებადსაშიშაა, რაც ციანმჟავას პოლიმერიზაციის ავტოკატალიზური თვისებებიდან გამომდინარეობს. ციანმჟავას პოლიმერიზაციის ინჰიბირება შესაძლებელია მჟავური ბუნების ნივთიერებებთან, რომლებიც ურთიერთქმედებენ ტუტე ქიმიური ბუნების ნივთიერებებთან. თავის მხრივ კი ტუტოვანი ბუნების ნივთიერებები ციანმჟავას პოლიმერიზაციის ინიციატორებს წარმოადგენენ. ციანმჟავას წარმოების პროცესს ყოველთვის თან ახლავს ამიაკი, რომელიც სინთეზის სტადიიდან დაწყებული რექტიფიკაციის სტადიით დამთავრებული მუდმივად თან სდევს ციანმჟავას. სწორედ ამიტომ ციანმჟავას აბსორბენტი ყოველთვის შეიცავდა დაახლოებით 3%-მდე ორთოფოსფორმჟავას, რომლის მეშვეობითაც ამიაკი უნდა შეკავშირებულიყო შემდეგი რეაქციების მიხედვით:



მიღებული პროდუქტებიდან ამონიუმის ჰიდროფოსფატი და დიჰიდროფოსფატი არამდგრადი ნივთიერებებია, რომელიც მაღალ ტემპერატურაზე ამიაკის გამოყოფით მიმდინარეობს. ხოლო ამიაკი კი პოლიმერიზაციის ინიციატორს წარმოადგენს. გარდა ამისა, ორთოფოსფორმჟავა არააქროლადი მჟავაა, რომელიც ციანმჟავას პოლიმერიზაციის ინჰიბირებას ვერ უზრუნველყოფს აირად ფაზაში. სწორედ ზემოთჩამოთვლილი უარყოფითი თვისებების გამო ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული პოლიმერიზაციის ინჰიბიტორი ორთოფოსფორმჟავა შეიცვალა ძმარმჟავით. ძმარმჟავას გააჩნია რიგი ტექნოლოგიური უპირატესობებისა ორთოფოსფორმჟავასთან შედარე-

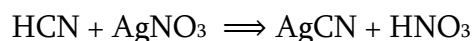
ბით, რაც გამოიხატება მის ეკონომიურობაში, სტაბილური მარილის წარმოქმნაში ამიაკთან, რეციკლის შესაძლებლობით და ა.შ.

ორთოფოსფორმჟავას ძმარმჟავათი ჩანაცვლების შემდეგ საჭირო იყო მისი ანალიზის მეთოდის შემუშავება ციანმჟავას სამი სხვადასხვა კონცენტრაციის სითხეში, კერძოდ: სარექტიფიკაციო კოლონის კუბურ სითხეში, რომელშიც ციანმჟავას შემცველობა ა/უ 0.02%-ია, სკრუბერის სითხეში ციანმჟავას შემცველობა ა/უ 1%-ია და ფორსკრუბერის სითხეში-ციანმჟავას შემცველობა ა/უ 2.5%-ია.

2.6.1. ციანმჟავას ანალიზის მეთოდის შერჩევა

ციანმჟავას თვისებითი რეაქციებიდან აღსანიშნავია მისი რეაქცია ბენზიდინთან სპილენძის აცეტატთან ერთად, რომლის დროსაც მიიღება ლურჯი შეფერილობის კომპლექსური ნაერთი. ცნობილია ასევე ფენოლფტალეინის რეაქცია, რომელიც დაფუძნებულია ფენოლფტალეინის დაჟანგვაზე. ფენოლფტალეინამდე ციანმჟავასთან მისი რეაქციის შედეგად მიიღება მოწითალო-მოიისფრო შეფერილობა. ასევე ციანმჟავას დამახასიათებელი რეაქციაა ბერლინის ლაჟვარდის წარმოქმნა, რომელსაც იგი წარმოქმნის რკინის მარილებთან ურთიერთქმედებისას.

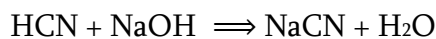
ციანმჟავას რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის, ცნობილია რამოდენიმე ურთიერთგანსხვავებული მეთოდი. ციანმჟავას განსაზღვრის გრავიმეტრული მეთოდი ეფუძნება ციანმჟავას გამოლექვას ვერცხლის ნიტრატის ჭარბი ხსნარით შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



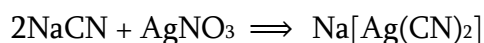
მიღებულ ნალექს რეცხავენ, აშრობენ და გამოავარვარებენ. რის შემდეგაც მიღებულ ლითონურ ვერცხლს წონიან.

ციანმჟავას განსაზღვრის მოცულობითი მეთოდებიდან აღსანიშნავია ლიბიხის მეთოდი, დენჟეს მეთოდი და ნიკელის მარილებით განსაზღვრის

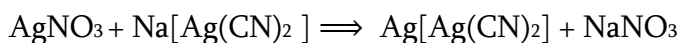
მეთოდი. ლიბიხის მეთოდის მიხედვით ციანმჟავა პირველ საფეხურზე ურთიერთქმედებს ნატრიუმის ჰიდროქსიდთან ნატრიუმის ციანიდის წარმოქმნით:



ნატრიუმის ციანიდის ტუტე ხსნართან ვერცხლის ნიტრატის ურთიერთქმედებით მიიღება ორმაგი მარილი:

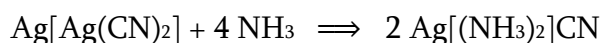


მას შემდეგ რაც მთელი ციანიდი შეუკავშირდება ვერცხლს ორმაგი მარილის წარმოქმნით, AgNO_3 -ის შემდეგი წვეთი იწვევს ვერცხლის დიციანოარგენტატის ოპალესცენციის წარმოქმნას, რაც თვალით ადვილი შესამჩნევია:

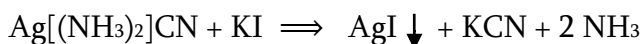


ოპალესცენცია მიუთითებს ექვივალენტობის წერტილს.

დენჟეს მოცულობითი მეთოდი ლიბიხის მეთოდის მოდიფიცირებაა, რომლის განმასხვავებელიც ისაა რომ ტიტრაცია ხორციელდება ამიაკურ არეში. ლიბიხის მეთოდის მიხედვით ხსნარში წარმოქმნილი ვერცხლის დიციანოარგენტატი იხსნება ამიაკში დიამინოვერცხლის ციანიდის წარმოქმნით:



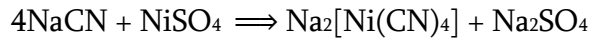
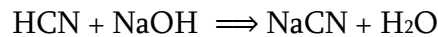
ეს უკანასკნელი რეაქციაში შედის ხსნარში შეტანილ კალიუმის იოდიდთან წყალში უხსნადი ვერცხლის იოდიდის წარმოქმნით:



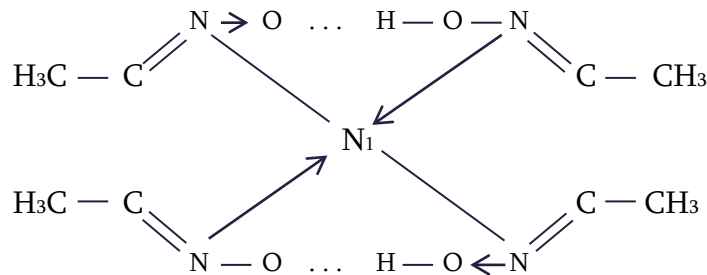
ვერცხლის იოდიდის წარმოქმნის დაფიქსირება ადვილია, რადგანაც იგი წარმოქმნის მომწვანო-მოყვითალო შეფერილობის ოპალესცენციას, რომელიც მიუთითებს ექვივალენტობის წერტილს და ტიტრაციის დასასრულს. მეთოდის მგრძობელობაა 2 მგ CN^- -იონები 1 ლ ხსნარში.

ნიკელის მარილებით ციანმჟავას განსაზღვრა დაფუძნებულია ციანმჟავას ურთიერთქმედებაზე ნატრიუმის ჰიდროქსიდთან ნატრიუმის ციანი-

დის წარმოქმნით, ხოლო შემდეგ კი ნიკელის მარილებთან წყალში ხსნადი კომპლექსური ნაერთის წარმოქმნაზე:



რეაქციას ატარებენ ამიაკურ არეში, დიმეთილგლიოქსიმის როგორც ინდიკატორის თანაობისას. მას შემდეგ, რაც ხსნარში არსებული სრული ნატრიუმის ციანიდი შეუკავშირდება ნიკელის იონებს, შემდეგი წვეთი ნიკელის სულფატისა დიმეთილგლიოქსიმთან წარმოქმნის წითელი ფერის კომპლექსნაერთს, რომელიც მიუთითებს ტიტრაციის დასასრულს:

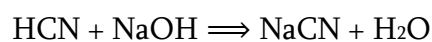


ცნობილია ასევე იოდომეტრიული და ბრომომეტრიული მეთოდები, რომელიც პრაქტიკული ღირებულებით არ გამოირჩევა.

ციანმჟავას წარმოებაში ციანმჟავას წყალხსნარების 0.02-დან 2.5%-მდე შემცველობის კონცენტრაციებია გავრცელებული, რომელთა ანალიზური კონტროლი დაფუძნებულია ლიბიხ-დენჟეს კომბინირებულ მოცულობით მეთოდზე.

ტექნოლოგიურ ხსნარებში (კუბის სითხე, სკრუბერის სითხე, ფორ-სკრუბერის სითხე) HCN-ის განსაზღვრის მეთოდი:

მეთოდი გამოიყენება ციანმარილების წარმოების ციანმჟავას განყოფილების ციანმჟავას შემცველ ხსნარებში HCN-ის მასური კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის, რომელიც ასევე იტიტრება ნატრიუმის ტუტის ხსნარით:



სინჯის აღება ხდება სუფთა, მშრალი, სქელკედლიანი მილესილ-საცობიანი მინის ჭურჭლით.

სინჯის სიმკვრივეს ზომავენ ოთახის ტემპერატურაზე, რომელზეც ხდება ტიტრაცია. საჭიროების შემთხვევაში გაზომვის წინ სინჯის ტემპერატურა მიჰყავთ ოთახის ტემპერატურამდე.

საანალიზო სინჯს ათავსებენ სუფთა მშრალ ცილინდრში ისე, რომ ხსნარის დონე 3-4 სმ-ით ქვემოთ იყოს ცილინდრის ბოლოდან. ცილინდრში ფრთხილად ჩაყურსავენ მშრალ სუფთა არეომეტრს. არეომეტრის ძირი ცილინდრის ფსკერიდან უნდა იყოს ა.ნ. 3 სმ-ზე. არეომეტრს არ უშვებენ ხელს მანამ, სანამ არ ატივტივდება ხსნარში ისე, რომ არ ეხებოდეს ცილინდრის კედლებს და ძირს. არეომეტრის შკალაზე ანათვალს იღებენ ჩაყურსვიდან 3-4 წთ-ის შემდეგ ხსნარის ქვედა მენისკით. ანათვალის ალების დროს თვალი უნდა იყოს ზუსტად ქვედა მენისკის გასწვრივ.

ანალიზის მსვლელობა:

250 სმ³-იან კონუსურ კოლბაში ათავსებენ 20-25 სმ³ 0.2 ნ ნატრიუმის ტუტეს და პიპეტით შეაქვთ 5 სმ³ საანალიზო სინჯი, ამატებენ 5-6 სმ³ ინდიკატორს (KI+NH₄OH) და ტიტრავენ ვერცხლის ნიტრატის 0.01 ნ ხსნარით უმნიშვნელო სიმკვრივის წარმოქმნამდე.

საანალიზო სინჯში ციანმჟავას მასური კონცენტრაცია (X₁), %-ში, გამოითვლება ფორმულით:

$$X_1 = \frac{V_1 \cdot K_1 \cdot 0.00054 \cdot 100}{5 \cdot d}$$

სადაც:

V₁ – ციანმჟავას გატიტვრაზე დახარჯული 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის მოცულობა, სმ³

K₁ – 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი

0.00054 – ციანმჟავას მასაა, რომელიც შეესაბამება 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის 1 სმ³-ს, გ;

5 – ციანმჟავას საანალიზოდ აღებული სინჯის მოცულობა, სმ³;

d – საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე, გ/სმ³.

გამოთვლილი X₁-ის მნიშვნელობით, ცხრილი 20-დან, პოულობენ შესაბამის V₀-ის მნიშვნელობას და ანგარიშობენ ციანმჟავას გატიტვრისთვის საჭირო 0.1 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობას:

$$V = V_0 \cdot \frac{d}{d_0}$$

სადაც:

V – ციანმჟავას გატიტრისთვის საჭირო 0.1 N ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობაა, სმ³;
 V_0 – ციანმჟავას გატიტრისთვის საჭირო 0.1 N ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობაა, იმ დაშვებით, რომ საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე უდრის 1-ს, სმ³;
 d – საანალიზო ხსნარის სიმკვრივეა, გ/სმ³;
 $d_0 = 1$ გ/სმ³.

ცხრილი 20. ციანმჟავას გატიტრისთვის საჭირო 0.1 N ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობის გამოთვლა V_0 -ის მნიშვნელობის მიხედვით

$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ სმ ³	$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ სმ ³	$X_1(\text{HCN}),$ %	$V_0(\text{NaOH}),$ სმ ³
0.002	0.07	0.056	2.07	0.110	4.07
0.004	0.15	0.058	2.15	0.112	4.15
0.006	0.22	0.060	2.22	0.114	4.22
0.008	0.30	0.062	2.30	0.116	4.30
0.010	0.37	0.064	2.37	0.118	4.37
0.012	0.44	0.066	2.44	0.120	4.44
0.014	0.52	0.068	2.52	0.122	4.52
0.016	0.59	0.070	2.59	0.124	4.59
0.018	0.67	0.072	2.67	0.126	4.67
0.020	0.74	0.074	2.74	0.128	4.74
0.022	0.81	0.076	2.81	0.130	4.81
0.024	0.89	0.078	2.89	0.132	4.89
0.026	0.96	0.080	2.96	0.134	4.96
0.028	1.04	0.082	3.04	0.136	5.04
0.030	1.11	0.084	3.11	0.138	5.11
0.032	1.19	0.086	3.19	0.140	5.19
0.034	1.26	0.088	3.26	0.142	5.26
0.036	1.33	0.090	3.33	0.144	5.33
0.038	1.41	0.092	3.41	0.146	5.41
0.040	1.48	0.094	3.48	0.148	5.48
0.042	1.56	0.096	3.56	0.150	5.56
0.044	1.63	0.098	3.63	0.152	5.63
0.046	1.70	0.100	3.70	0.154	5.70
0.048	1.78	0.102	3.78	0.156	5.78
0.050	1.85	0.104	3.85	0.158	5.85
0.052	1.93	0.106	3.93	0.160	5.93
0.054	2.00	0.108	4.00	0.162	6.00

ცხრილი 20. გაგრძელება

X ₁ (HCN), %	V ₀ (NaOH),	X ₁ (HCN), %	V ₀ (NaOH),	X ₁ (HCN),	V ₀ (NaOH), სმ ³
0.164	6.07	0.218	8.07	0.272	10.07
0.166	6.15	0.220	8.15	0.274	10.15
0.168	6.22	0.222	8.22	0.276	10.22
0.170	6.30	0.224	8.30	0.278	10.30
0.172	6.37	0.226	8.37	0.280	10.37
0.174	6.44	0.228	8.44	0.282	10.44
0.176	6.52	0.230	8.52	0.284	10.52
0.178	6.59	0.232	8.59	0.286	10.59
0.180	6.67	0.234	8.67	0.288	10.67
0.182	6.74	0.236	8.74	0.290	10.74
0.184	6.81	0.238	8.81	0.292	10.81
0.186	6.89	0.240	8.89	0.294	10.89
0.188	6.96	0.242	8.96	0.296	10.96
0.190	7.04	0.244	9.04	0.298	11.04
0.192	7.11	0.246	9.11	0.300	11.11
0.194	7.19	0.248	9.19	0.302	11.19
0.196	7.26	0.250	9.26	0.304	11.26
0.198	7.33	0.252	9.33	0.306	11.33
0.200	7.41	0.254	9.41	0.308	11.41
0.202	7.48	0.256	9.48	0.310	11.48
0.204	7.56	0.258	9.56	0.312	11.56
0.206	7.63	0.260	9.63	0.314	11.63
0.208	7.70	0.262	9.70	0.316	11.70
0.210	7.78	0.264	9.78	0.318	11.78
0.212	7.85	0.266	9.85	0.320	11.85
0.214	7.93	0.268	9.93	0.322	11.93
0.216	8.00	0.270	10.00	0.324	12.00

* ციანმჟავას გატიტვრაზე დახარჯული 0.1 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობის გამოთვლისას, საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე დაშვებულია, რომ უდრის 1-ს ($d_0 = 1$ გ/სმ³).

2.6.2. ძმარმჟავას ანალიზის მეთოდის შერჩევა

ძმარმჟავას ანალიზის მეთოდის შესარჩევად გავითვალისწინეთ, რომ იგი ქიმიური წარმოების პროდუქტია და გარკვეული სტანდარტების მიხედვით იწარმოება. როგორც მოვიძიეთ სინთეტიკური და რეგენერირებული ძმარმჟავა იწარმოება გოსტი 19814-ის მოთხოვნის მიხედვით, რომელშიც 14 მაჩვენებელია დანორმილი. მათ შორის ძირითადი ნივთიერების მასური წილი. აქვეა მოცემული აღნიშნული 14 მაჩვენებლის ანალიზის მეთოდები.

პროდუქციულ ძმარმჟავაში ძირითადი ნივთიერების განსაზღვრისათვის 250 სმ³ ტევადობის მიხეხილსაცობიან ერლენმეიერის კოლბაში იღებენ 50 სმ³ წყალს და კოლბაშივე წონიან დაახლოებით 2.5 გ ძმარმჟავას ანალიზურ სასწორზე. ხსნარში აწვეთებენ 2-3 წვეთ ფენოლფტალეინს და ტიტრვენ ნატრიუმის ჰიდროქსიდის 1 ნ ხსნარით სუსტი ვარდისფერი შეფერილობის წარმოქმნამდე, რომელიც არ უფერულდება 5-10 წმ-ის განმავლობაში. ძმარმჟავას შემცველობას პროდუქტში გამოითვლიან ფორმულით:

$$X = \frac{V \cdot K \cdot 0.6005 \cdot 100}{m} - 1.3 \cdot X_2$$

სადაც:

V- ტიტრაციაზე დახარჯული 1 ნ NaOH-ის მოცულობა, სმ³;

K- 1 ნ NaOH-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

0.6005- ძმარმჟავას მასა, რომელიც შეესაბამება 1 სმ³ 1 ნ NaOH-ს, გ;

m- საანალიზოდ აღებული სინჯის წონა;

1.3- ჭიანჭველმჟავას ძმარმჟავაზე გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტი

X₂ - ჭიანჭველმჟავას შემცველობა პროდუქტში, %.

რადგანაც წარმოდგენილი მეთოდი სტანდარტულია და ეფუძნება მჟავას ნეიტრალიზაციას ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარით, შესაბამისად მეთოდის შემოწმება არ განგვიხორციელებია. მეთოდი ათვისებული და დანერგილი იქნა ციანმჟავას წარმოებაში, როგორც ნედლეულში ძმარმჟავას კონცენტრაციის განსაზღვრის მეთოდი. რაც შეეხება ტექნოლოგიურ პროცესში არსებულ სითხეებში (კუბის სითხე, სკრუბერის სითხე, ფორსკრუბერის სითხე) მათში ძმარმჟავას შემცველობის ზემოთაღწერული მეთოდის გამოყენება შეუძლებელია, რადგანაც იგი ორი მჟავას:

ციანმჟავასა და ძმარმჟავას ნარევი. ამდენად ნატრიუმის ტუტის მეშვეობით გაიტიტრება როგორც ციანმჟავა, ასევე ძმარმჟავა.

2.6.3. ციანმჟავა ძმარმჟავას ნარევიში მათი ინდივიდუალური განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება პირდაპირი ტიტრაციის მეთოდით

ციანმჟავა ძმარმჟავას ნარევიში კომპონენტთა ინდივიდუალური განსაზღვრისათვის განვიზრახეთ, რომ ციანმჟავა განგვესაზღვრა ზემოთაღწერილი ლიბიხ-დენჟეს მეთოდით, ხოლო სხვა ალიქვოტში განგვესაზღვრა მჟავიანობა ძმარმჟავაზე გადათვლით. ამის შემდეგ სხვაობით დაგვეანგარიშებინა ძმარმჟავას ჭეშმარიტი შემცველობა ხსნარში.

იმისათვის რომ ჩვენი განზრახვა სისრულეში მოგვეყვანა, საჭირო იყო მოდელური ხსნარების მომზადება და ექსპერიმენტალური სამუშაოს ჩატარება. რადგანაც მოდელური ხსნარების მომზადებისათვის საჭირო სუფთა ციანმჟავა არაა ხელმისაწვდომი მისი პოლიმერიზაციის თვისების გამო, ამიტომ მათ მოსამზადებლად ვიყენებდით ფორსკრუბერის, სკრუბერის და კუბის სითხეებს, რომელშიც ვსაზღვრავდით HCN-ის შემცველობას ლიბიხ-დენჟეს მეთოდით. დადგენილი ციანმჟავას ზუსტი შემცველობის ხსნარებში შეგვექონდა განსაზღვრული მასის ყინულოვანი ძმარმჟავა, რომელშიც ძმარმჟავას შემცველობა ისაზღვრებოდა სტანდარტის (გოსტი 19814) მიხედვით.

მოდელური ხსნარების მომზადებისას ვითვალისწინებდით იმ გარემოებას, რომ ცირკულაციურ ხსნარებში პოლიმერიზაციის ინჰიბიტორის შემცველობა 0.25-0.75%-ის ფარგლებში უნდა ცვალებადობდეს. ხსნარებს ვამზადებდით შემდეგნაირად: ანალიზურ სასწორზე ვწონდით ფორსკრუბერის, სკრუბერის ან კუბის სითხეს გარკვეული რაოდენობით, რომელშიც წინასწარ განსაზღვრული იყო HCN-ის შემცველობა, მასში შეგვექონდა ყინულოვანი ძმარმჟავა იმ გაანგარიშებით რომ მიღებულ ხსნარში მისი შემცველობა 0.25-0.75%-ის ფარგლებში ყოფილიყო. მიღებულ ნარევიში ისაზღვ-

რებოდა HCN-ის შემცველობა ლიბიხ-დენჟეს მეთოდით, ხოლო ძმარმჟავა კი პირდაპირი ტიტრაციის მეთოდით ფენოლფტალეინის თანაობისას. ცხადია პირდაპირი ტიტრაცია და HCN-ის განსაზღვრა ხორციელდებოდა სხვადასხვა ალიქვოტიდან. ნეიტრალიზაციის პროცეში ხსნარში ადგილი ექნება შემდეგ რეაქციებს:



შედეგების დაანგარიშებისას ცხადია უნდა გაგვეთვალისწინებინა, რომ ნატრიუმის ჰიდროქსიდით ტიტრაციისას დახარჯული ტუტის რაოდენობა შეესაბამებოდა როგორც ძმარმჟავას, ასევე ციანმჟავას, ამიტომ ძმარმჟავაზე დახარჯული NaOH-ის სრულ რაოდენობას უნდა დააკლდეს HCN-ის გატიტრისათვის დახარჯული NaOH-ის მოცულობა. თავის მხრივ HCN-ის კონცენტრაცია ცნობილია წინასწარ მისი ლიბიხ-დენჟეს მეთოდით გაანალიზებისას სხვა ალიქვოტიდან. ამ მოცემულობაზე დაყრდნობით შევქმენით შემდეგი საანგარიშო ფორმულები:

$$X_1 = \frac{V_1 \cdot K_1 \cdot 0.00054 \cdot 100}{5 \cdot d}$$

სადაც:

X₁- ციანმჟავას კონცენტრაცია ხსნარში, %;

V₁- ციანმჟავას გატიტრებაზე დახარჯული 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის მოცულობა, სმ³;

K₁- 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

0.00054- ციანმჟავას მასა, რომელიც შეესაბამება 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის 1 სმ³-ს, გ;

5- ციანმჟავას ანალიზისათვის აღებული სინჯის მოცულობა, სმ³;

d-საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე, გ/სმ³.

მიღებული მნიშვნელობების მიხედვით ვითვალისწინებდით NaOH-ის იმ მოცულობას, რომელიც საჭირო იყო მიღებული კონცენტრაციის ციანმჟავას ნეიტრალიზაციისათვის. ხოლო ძმარმჟავას ვანგარიშობდით შემდეგი ფორმულით:

$$X_2 = \frac{(V_2 K_2 - V) \cdot 0.006 \cdot 100}{10 \cdot d}$$

სადაც:

X₂- ძმარმჟავას კონცენტრაცია ხსნარში, %;

V₂- გატიტვრაზე დახარჯული 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის მოცულობა, სმ³;

K₁- 0.1 ნ NaOH-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

0.006- ძმარმჟავას მასა, რომელიც შეესაბამება 1 სმ³ 0,1 ნ NaOH-ს, გ;

10- ძმარმჟავას ანალიზისთვის აღებული სინჯის მოცულობა, სმ³;

d- საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე, გ/სმ³;

V-ციანმჟავას გატიტვისათვის გამოთვლილი 0.1 ნ NaOH-ის ხსნარის მოცულობა, სმ³.

სწორედ ამ ფორმულების გამოყენებით ვანგარიშობდით მოდელოური ხსნარების ქიმიურ ანალიზებს. შესრულებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 21,22.

ცხრილი 21. კუბური სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარების მომზადება და მისი ანალიზები

№	მოდელოური ხსნარის მომზადება		ხსნარის შედგენილობა, %			
	ციანმჟავას 0.025 %-იანი ხსნარი, გ	ძმარმჟავას 10 %-იანი ხსნარი, გ	გამოთვლილი		ანალიზით მიღებული	
			HCN	CH ₃ COOH	HCN	CH ₃ COOH
1	97.5018	2.5311	0.0244	0.2531	0.0250	0.180
2	97.5752	2.5036	0.0244	0.2504	0.0248	0.185
3	97.0983	3.0038	0.0243	0.3004	0.0227	0.168
4	97.1070	3.0133	0.0243	0.3013	0.0238	0.204
5	96.5037	3.5050	0.0241	0.3505	0.0281	0.234
6	96.5369	3.5118	0.0241	0.3512	0.0227	0.252
7	96.0125	4.0906	0.0240	0.4091	0.0259	0.276
8	96.0333	4.0573	0.0240	0.4057	0.0248	0.234
9	95.5031	4.5258	0.0239	0.4526	0.0227	0.300
10	95.4989	4.5019	0.0239	0.4502	0.0238	0.312
11	95.0159	5.0093	0.0238	0.5009	0.0259	0.360
12	95.0391	5.0168	0.0238	0.5017	0.0216	0.384
13	94.5300	5.5191	0.0236	0.5519	0.0205	0.414
14	94.5049	5.5077	0.0236	0.5508	0.0238	0.444
15	94.0038	6.0189	0.0235	0.6019	0.0227	0.510
16	94.0198	6.0251	0.0235	0.6025	0.0216	0.534
17	93.5186	6.5611	0.0234	0.6561	0.0281	0.570
18	93.5281	6.5083	0.0234	0.6508	0.0248	0.588

ცხრილი 21.გაგრძელება

19	93.0563	7.0003	0.0233	0.7000	0.0227	0.594
20	93.0135	7.0158	0.0233	0.7016	0.0238	0.612
21	92.5109	7.5081	0.0231	0.7508	0.0205	0.630
22	92.4978	7.5128	0.0231	0.7128	0.0216	0.648

ცხრილი 22. სკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები

№	მოდელური ხსნარის		ხსნარის შედგენილობა. %			
	ციანმჟავას 1.0 %-იანი ხსნარი, გ	ძმარმჟავას 10 %-იანი ხსნარი, გ	გამოთვლილი		ანალიზით	
			HCN	CH ₃ COOH	HCN	CH ₃ COOH
1	97.5013	2.5180	0.9750	0.2518	0.994	0.174
2	97.5596	2.5021	0.9756	0.2502	0.961	0.204
3	97.0018	3.0908	0.9700	0.3091	0.998	0.234
4	97.0106	3.0281	0.9701	0.3028	0.983	0.276
5	96.5353	3.5196	0.9654	0.3520	0.950	0.300
6	96.5113	3.5021	0.9651	0.3502	0.956	0.324
7	96.0027	4.0104	0.9600	0.4010	0.953	0.366
8	96.0311	4.0174	0.9603	0.4017	0.961	0.360
9	95.5152	4.5078	0.9552	0.4508	0.972	0.390
10	95.5018	4.5012	0.9550	0.4501	0.956	0.414
11	95.0128	5.0307	0.9501	0.5031	0.942	0.468
12	95.0313	5.0511	0.9503	0.5051	0.956	0.486
13	94.5007	5.5095	0.9450	0.5510	0.950	0.498
14	94.5139	5.5313	0.9451	0.5531	0.939	0.534
15	94.0087	6.0309	0.9401	0.6031	0.940	0.570
16	94.0225	6.0673	0.9402	0.6067	0.936	0.546
17	93.5725	6.5318	0.9357	0.6532	0.931	0.576
18	93.5006	6.5031	0.9350	0.6503	0.939	0.558
19	93.0725	7.0900	0.9307	0.7090	0.929	0.600
20	93.0425	7.0135	0.9304	0.7014	0.918	0.618
21	92.5118	7.5100	0.9251	0.7510	0.931	0.696
22	92.5009	7.5526	0.9250	0.7553	0.929	0.684

ცხრილი 23. ფორსკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები

№	მოდელური ხსნარის		ხსნარის შედგენილობა. %			
	ციანმჟავას 2.5%-იანი ხსნარი	ძმარმჟავას 10 %-იანი ხსნარი,გ	გამოთვლილი		ანალიზით მიღებული	
			HCN	CH ₃ COOH	HCN	CH ₃ COOH
1	97.5190	2.5087	2.4380	0.2509	2.447	0.180
2	97.5035	2.5019	2.4376	0.2502	2.408	0.192
3	97.0861	3.0179	2.4271	0.3018	2.484	0.198
4	97.0183	3.0732	2.4255	0.3073	2.419	0.210
5	96.5313	3.5090	2.4133	0.3509	2.408	0.216
6	96.5018	3.5518	2.4125	0.3552	2.387	0.210
7	96.0101	4.0907	2.4002	0.4091	2.422	0.234
8	96.0327	4.0123	2.4008	0.4012	2.393	0.258
9	95.5311	4.5029	2.3883	0.4503	2.365	0.294
10	95.5078	4.5013	2.3877	0.4501	2.376	0.360
11	95.0108	5.0409	2.3753	0.5041	2.372	0.354
12	95.0397	5.0079	2.3760	0.5008	2.393	0.384
13	94.5118	5.5551	2.3630	0.5555	2.373	0.408
14	94.5006	5.4945	2.3625	0.5495	2.344	0.432
15	94.0147	6.0161	2.3504	0.6016	2.364	0.480
16	94.0333	6.0248	2.3508	0.6025	2.348	0.540
17	93.5090	6.5216	2.3377	0.6522	2.343	0.546
18	93.5103	6.5255	2.3378	0.6526	2.335	0.558
19	93.0351	7.0183	2.3259	0.7018	2.322	0.594
20	93.0187	7.0205	2.3255	0.7021	2.328	0.618
21	92.5097	7.5495	2.3127	0.7550	2.309	0.636
22	92.5111	7.5156	2.3128	0.7516	2.322	0.684

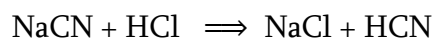
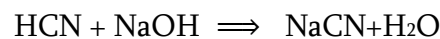
როგორც წარმოდგენილი ცხრილებიდან ჩანს, ტექნოლოგიურ ხსნარებში (კუბის სითხე, სკრუბერის სითხე, ფორსკრუბერის სითხე) ციანმჟავას კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად მეთოდის ცდომილება იზრდება. დაბალი ციანმჟავას შემცველობის ხსნარებში ძმარმჟავას შემცველობის ანალიზი შედარებით ზუსტია, ვიდრე მაღალი ციანმჟავას შემცველობის ხსნარებში. ეს სავარაუდოდ აიხსნება ტიტრაციის პროცესში შესაბამისი ალიქვოტიდან ციანმჟავას აორთქლებით, რადგანაც იგი ადვილად აქროლადი მჟავაა, ხოლო ტიტრაციის პროცესი მჟავა არეში ხორციელდება.

ჩატარებული ექსპერიმენტალური სამუშაოს შედეგების საფუძველზე გაჩნდა მოსაზრება საანალიზო ალიქვოტის ანალიზი გაგვეხორციელებინა არა პირდაპირი ტიტრაციის, არამედ უკუტიტრაციის მეთოდით. აღნიშნულის მეშვეობით შესაძლებელი გახდებოდა ალიქვოტში არსებული მჟავათა

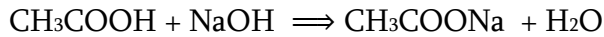
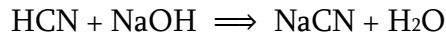
ნარევის სრულად შეკავშირება ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ჭარბ რაოდენობასთან, რომლის ნარჩენიც გაიტიტრებოდა ცნობილი კონცენტრაციის მჟავით.

2.6.4. ციანმჟავა ძმარმჟავას ნარევიში მათი ინდივიდუალურად განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება უკუტიტრაციით

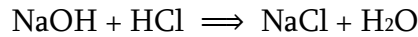
ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ანალიზის პირდაპირი ტიტრაციის მეთოდის შემუშავებისას მიღებული მცდარი შედეგების გამო, გადაწყვიტეთ შეგვეცვალა მეთოდი და მოგვესინჯა უკუტიტრაციით ძმარმჟავა ციანმჟავას ნარევის გაანალიზება. ამისათვის ვიღებდით ნარევის ალიქვოტს და შეგვექონდა ერლენმეიერის კოლბაში, რომელშიც წინასწარ იყო შეტანილი ჭარბი რაოდენობით, ცნობილი ნორმალობის კონცენტრაციის ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარი, მასზე ვამატებდით ინდიკატორ ფენოლფტალეინის რამოდენიმე წვეთს და ვტიტრავდით ჭარბ ნატრიუმის ჰიდროქსიდს იმავე ნორმალობის მარილმჟავას ხსნარით, ვარდისფერი შეფერილობის გაუფერულებამდე. ინდიკატორი ფენოლფტალეინი შერჩეულ იქნა იმის გამო, რომ მას აქვს ფერის ცვლის მაღალი pH, რის გამოც ჭარბი ნატრიუმის ჰიდროქსიდის მარილმჟავათი ტიტრაციისას ადგილი არ ჰქონდეს ციანმჟავას გამოყოფას წარმოქმნილი ნატრიუმის ციანიდის დაშლის ხარჯზე.



ტიტრაციის შედეგების დამუშავების დროს ერლენმეიერის კოლბაში წინასწარ შეტანილი ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარის მოცულობას ვაკლებდით მის ტიტრაციაზე დახარჯული მარილმჟავას მოცულობას. ცხადია ნატრიუმის ჰიდროქსიდი რეაქციაში შევიდოდა როგორც ციანმჟავასთან, ასევე ძმარმჟავასთან.



ხოლო ჭარბი ტუტის ტიტრაცია ხორციელდებოდა შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



ამიტომ საანალიზო ხსნარში აღებული ორივე მჟავას მიერ შექმნილ საერთო მჟავიანობაზე დახარჯული ნატრიუმის ჰიდროქსიდის მოცულობას ვაკლებდით ციანმჟავას ტიტრაციისათვის გამოთვლილი ნატრიუმის ჰიდროქსიდის რაოდენობას. თავის მხრივ კი ციანმჟავას შემცველობა დგინდებოდა სხვა ალიქვოტში ლიბიხ-დენჟეს მეთოდით.

ზემოთქმული მანიპულაციების გათვალისწინებით საანგარიშო ფორმულას მივეცით ასეთი სახე:

$$X = \frac{(V_1 K_1 - V_2 K_2 - V_0) \cdot 0.006}{v \cdot d} \cdot 100$$

სადაც:

V_1 – ანალიზისთვის აღებული ჭარბი 0.1 ნ NaOH-ის მოცულობა, სმ³;

K_1 – 0.1 ნ NaOH-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

V_2 – ჭარბი ტუტის ტიტრაციაზე დახარჯული 0.1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ³;

K_2 – 0.1 ნ HCl-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

V_0 – ციანმჟავას ტიტრაციისათვის დახარჯული 0.1 ნ NaOH-ის მოცულობა, სმ³;

V – საანალიზოდ აღებული ალიქვოტის მოცულობა, სმ³;

d – საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე, გ/სმ³.

იმისათვის, რომ დაგვედგინა ტიტრაციის პროცესის, ასევე შემუშავებული საანგარიშო ფორმულის სიზუსტე, ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა მომზადებული მოდულური ხსნარების ანალიზი უკუტიტრაციის მეთოდით. ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური შედეგები წარმოდგენილი ცხრილებში 24,25,26.

ცხრილი 24. კუბური სითხის გამოყენებით მოდელური ხსნარების მომზადება და მისი ანალიზები

№	მოდელური ხსნარის მომზადება		ხსნარის შედგენილობა, %			
	ციანმჟავას 0.025 %-იანი ხსნარი, გ	ძმარმჟავას 10 %-იანი ხსნარი, გ	გამოთვლილი		ანალიზით მიღებული	
			HCN	CH ₃ COOH	HCN	CH ₃ COOH
1	97.5128	2.5008	0.0244	0.2501	0.022	0.258
2	97.5722	2.5197	0.0244	0.2520	0.025	0.276
3	97.0398	3.0129	0.0243	0.3013	0.0230	0.294
4	97.0071	3.0923	0.0243	0.3092	0.0248	0.312
5	96.5096	3.5185	0.0241	0.3519	0.0270	0.336
6	96.5337	3.5009	0.0241	0.3501	0.0259	0.354
7	96.0321	4.0127	0.0240	0.4013	0.0248	0.414
8	96.0053	4.0185	0.0240	0.4019	0.0227	0.402
9	95.5103	4.5129	0.0239	0.4513	0.0216	0.468
10	95.4998	4.5008	0.0239	0.4501	0.0227	0.456
11	95.0322	5.0118	0.0238	0.5012	0.0248	0.516
12	95.0101	5.0321	0.0238	0.5032	0.0259	0.498
13	94.5003	5.5051	0.0236	0.5505	0.0227	0.540
14	94.4927	5.5126	0.0236	0.5513	0.0281	0.552
15	94.0098	6.0336	0.0235	0.6034	0.0281	0.576
16	94.0138	6.0513	0.0235	0.6051	0.0216	0.594
17	93.5396	6.5016	0.0234	0.6502	0.0205	0.642
18	93.2581	6.5088	0.0233	0.6509	0.0238	0.654
19	93.0356	7.0938	0.0233	0.7094	0.0248	0.714
20	93.0531	7.0114	0.0233	0.7011	0.0227	0.696
21	92.5019	7.5111	0.023	0.7511	0.0205	0.768
22	92.4897	7.5375	0.0231	0.7538	0.0281	0.744

ცხრილი 25. სკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელოური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები

№	მოდელოური ხსნარის მომზადება		ხსნარის შედგენილობა, %			
	ციანმჟავას 1.0 %-იანი ხსნარი, გ	ძმარმჟავას 10 %-იანი ხსნარი, გ	გამოთვლილი		ანალიზით მიღებული	
			HCN	CH ₃ COOH	HCN	CH ₃ COOH
1	97.5331	2.5038	0.9753	0.2504	1.026	0.276
2	97.5557	2.4936	0.9756	0.2494	0.998	0.258
3	97.0351	3.0098	0.9704	0.3010	1.004	0.312
4	97.0119	3.0331	0.9701	0.3033	0.983	0.312
5	96.5031	3.5134	0.9650	0.3513	0.983	0.348
6	96.5096	3.5008	0.9651	0.3501	0.972	0.354
7	96.0101	4.0109	0.9601	0.4011	0.961	0.390
8	96.0008	4.0937	0.9600	0.4094	0.950	0.408
9	95.5106	4.5028	0.9551	0.4503	0.953	0.444
10	95.5078	4.5111	0.9551	0.4511	0.956	0.468
11	95.0127	5.0139	0.9501	0.5014	0.957	0.480
12	95.0059	5.0367	0.9501	0.5037	0.956	0.504
13	94.5031	5.5119	0.9450	0.5512	0.945	0.552
14	94.4997	5.5029	0.9450	0.5503	0.942	0.558
15	94.0831	6.0089	0.9408	0.6009	0.939	0.606
16	94.0115	6.0377	0.9401	0.6038	0.940	0.612
17	93.5221	6.5139	0.9352	0.6514	0.931	0.648
18	93.5074	6.5051	0.9351	0.6505	0.929	0.654
19	93.0098	7.0067	0.9301	0.7007	0.936	0.696
20	96.0132	7.0331	0.9301	0.7033	0.929	0.708
21	92.4949	7.5088	0.9249	0.7508	0.929	0.744
22	92.5021	7.5121	0.9250	0.7512	0.918	0.756

ცხრილი 26. ფორსკრუბერის სითხის გამოყენებით მოდელური ხსნარის მომზადება და მისი ანალიზები

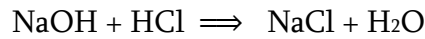
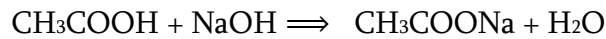
№	მოდელური ხსნარის მომზადება		ხსნარის შედგენილობა, %			
	ციანმჟავას 2.5%-იანი ხსნარი	ძმარმჟავას 10 %-იანი ხსნარი,გ	გამოთვლილი		ანალიზით	
			HCN	CH ₃ COOH	HCN	CH ₃ COOH
1	97.5008	2.5018	2.4375	0.2502	2.484	0.246
2	97.5301	2.5112	2.4383	0.2511	2.447	0.264
3	97.0555	3.0109	2.4264	0.3011	2.444	0.306
4	97.0106	3.1218	2.4253	0.3122	2.408	0.318
5	96.5108	3.5096	2.4128	0.3510	2.422	0.348
6	96.5096	3.5219	2.4127	0.3522	2.419	0.354
7	96.0107	4.0101	2.4003	0.4010	2.408	0.396
8	96.0051	4.0474	2.4001	0.4047	2.387	0.141
9	96.5331	4.5108	2.3883	0.4511	2.376	0.450
10	95.5736	4.5027	2.3893	0.4503	2.365	0.462
11	95.0182	5.0037	2.3755	0.5004	2.372	0.498
12	95.0086	5.0151	2.3752	0.5015	2.376	0.504
13	94.5933	5.5509	2.3648	0.5551	2.373	0.552
14	94.5018	5.5133	2.3625	0.5513	2.364	0.564
15	94.0039	6.0093	2.3501	0.6009	2.344	0.594
16	94.0107	6.0736	2.3503	0.6074	2.348	0.606
17	93.5119	6.5128	2.3378	0.6513	2.343	0.654
18	93.4978	6.5301	2.3374	0.6530	2.335	0.660
19	93.0303	7.0109	2.3258	0.7011	2.322	0.702
20	93.0195	7.0538	2.3255	0.7054	2.328	0.708
21	92.5232	7.5001	2.3131	0.7500	2.309	0.744
22	92.5071	7.5652	2.3127	0.7565	2.310	0.762

2.6.5. ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ანალიზის მეთოდი

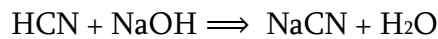
მეთოდის არსი: მეთოდი გამოიყენება ციანმჟავას წარმოების ციანმჟავას შემცველ ხსნარებში ძმარმჟავას მასური კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის.

ძმარმჟავას განსაზღვრის მეთოდი ტიტრიმეტრულია და დაფუძნებულია საანალიზო ხსნარში არსებული მჟავათა ნარევის (ძმარმჟავა, ციანმჟავა)

ჭარბი ნატრიუმის ტუტის ხსნარით შებოჭვაზე და ნარჩენი ტუტის მარილ-
მჟავათი გატიტვრაზე ინდიკატორ ფენოლფტალეინის თანაობისას:



ვინაიდან კუბური სითხე ძმარმჟავას გარდა შეიცავს ციანმჟავას, ანალი-
ზისთვის აღებული ტუტე ურთიერთქმედებაში შევა ციანმჟავასთანაც შემ-
დეგი რეაქციით:



საჭიროა ძმარმჟავას კონცენტრაციის გამოთვლისას გათვალისწინებუ-
ლი იქნას ციანმჟავას შემცველობა, რისთვისაც ციანმჟავას ანალიზი ხორცი-
ელდება სხვა ალიქვოტიდან.

საჭირო ხელსაწყოები, ჭურჭელი, რეაქტივები:

- ცილინდრი გოსტ 1770-ის მიხედვით, 25 სმ³, 250 სმ³;
- ბიურეტი გოსტ 29251-ის მიხედვით, 25 სმ³;
- პიპეტი გოსტ 2916-ის მიხედვით, 5 სმ³, 10 სმ³;
- არემეტრი გოსტ 1848-ის მიხედვით;
- კონუსური კოლბა გოსტ 25336-ის მიხედვით, 250 სმ³;
- სქელკედლიანი მინის ჭურჭელი მილესილი საცობით, სინჯის ასაღე-
ბად, 250 სმ³;
- ვერცხლის ნიტრატი გოსტ 1277-ის მიხედვით, 0.01 ნ ხსნარი;
- კალიუმის იოდინი გოსტ 4232-ის მიხედვით;
- ამიაკის წყალი გოსტ 3760-ის მიხედვით;
- ინდიკატორის (2 % KI + 10 % NH₄OH) მოსამზადებლად: 2.00 გ კალიუმის
იოდინს ხსნიან 98 სმ³ გამოხდილ წყალში, ამატებენ 22 სმ³ ამიაკის
წყალს, 30 სმ³ გამოხდილ წყალს და შეანჯღრევენ;
- ნატრიუმის ტუტე გოსტ 4328-ის მიხედვით, 0.1 ნ და 0.2 ნ ხსნარები;
- მარილმჟავას ხსნარი , გოსტ - 3118-77-ის მიხედვით, 0.1 ნ;
- ეთილის სპირტი რეაქტიფიცირებული ტექნიკური გოსტ 18300-ის მიხედვით;

- ფენოლოგტალეინი (ინდიკატორი), 1%-იანი სპირტხსნარი, მზადდება გოსტ 4919.1-ის მიხედვით;
- გამოხდილი წყალი გოსტ 6709-ის მიხედვით.

უსაფრთხოების მოთხოვნები:

ძმარმჟავა უფერო, გამჭვირვალე, ადვილაქროლადი ხსნარია მკვეთრი დამახასიათებელი სუნით. მისი ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია სამუშაო ზონაში შეადგენს 5 მგ/მ³-ს.

ძმარმჟავას ორთქლი აღიზიანებს ლორწოვან გარსს, განსაკუთრებით ზედა სასუნთქ გზებს. მისი ორთქლის მუდმივი ზემოქმედება იწვევს მწვავე და შემდგომ ქრონიკულ რინიტს, ლარინგიტს, კონიუნქტივიტს.

მისი კანზე ზემოქმედება იწვევს სიწითლეს და ტკივილს, შემდგომ კი ბუშტუკებს. ამგვარ სიდამწვრეს იწვევს 30%-იანი და უფრო მაღალი კონცენტრაციის მჟავა. თვალისთვის სახიფათოა 2% და მეტი კონცენტრაციის მჟავას ხსნარი.

დაცვის საშუალებებია: სპეცტანსაცმელი, სპეცფეხსაცმელი, რეზინის ხელთათმანი, დამცავი სათვალე, ფილტრიანი აირწინალი.

მომზადება განსაზღვრის შესასრულებლად:

სინჯის აღება:

სინჯის აღება ხდება სუფთა, მშრალი, სქელკედლიანი მილესილსაცობიანი მინის ჭურჭლით.

ძმარმჟავას მასური კონცენტრაციის განსაზღვრა ხდება იგივე საანალიზო სინჯში, რომელშიც განისაზღვრება ციანმჟავას მასური კონცენტრაცია.

სინჯის სიმკვრივის გაზომვა:

სინჯის სიმკვრივეს ზომავენ ოთახის ტემპერატურაზე, რომელზეც ხდება ტიტრაცია. საჭიროების შემთხვევაში გაზომვის წინ სინჯის ტემპერატურა მიჰყავთ ოთახის ტემპერატურამდე.

საანალიზო სინჯს ათავსებენ სუფთა მშრალ ცილინდრში ისე, რომ ხსნარის დონე 3-4 სმ-ით ქვემოთ იყოს ცილინდრის ბოლოდან. ცილინდრში ფრთხილად ჩაყურსავენ მშრალ სუფთა არეომეტრს. არეომეტრის ძირი

ცილინდრის ფსკერიდან უნდა იყოს ა.ნ. 3 სმ-ზე. არეომეტრს არ უშვებენ ხელს მანამ, სანამ არ ატივტივდება ხსნარში ისე, რომ არ ეხებოდეს ცილინდრის კედლებს და ძირს. არეომეტრის შკალაზე ანათვალს იღებენ ჩაყურსვიდან 3-4 წთ-ის შემდეგ ხსნარის ქვედა მენისკით. ანათვალის აღების დროს თვალი უნდა იყოს ზუსტად ქვედა მენისკის გასწვრივ.

ძმარმჟავას მასურ კონცენტრაციას საზღვრავენ სიმკვრივის გაზომვისთანავე.

ანალიზის მსვლელობა:

ციანმჟავას განსაზღვრა:

250 სმ³-იან კონუსურ კოლბაში ათავსებენ 20-25 სმ³ 0.2 ნ ნატრიუმის ტუტეს და პიპეტით შეაქვთ 5 სმ³ საანალიზო სინჯი, ამატებენ 5-6 სმ³ ინდიკატორს (KI+NH₄OH) და ტიტრავენ ვერცხლის ნიტრატის 0.015 ხსნარით უმნიშვნელო სიმკვრივის წარმოქმნამდე.

ძმარმჟავას განსაზღვრა:

250 სმ³-იან კონუსურ კოლბაში ათავსებენ 50 სმ³ 0.1 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარს, მასში შეაქვთ 5 სმ³ საანალიზო სინჯი, რომელშიც მოხდა ციანმჟავას მასური კონცენტრაციის განსაზღვრა, ამატებენ 2-3 წვეთ ინდიკატორ ფენოლფტალეინს და ტიტრავენ მარილმჟავას 0.1 ნ ხსნარით, ვარდისფერი შეფერილობის გაუფერულებამდე.

შედეგების გამოთვლა:

საანალიზო სინჯში ციანმჟავას მასური კონცენტრაცია (X₁), %-ში, გამოითვლება ფორმულით:

$$X_1 = \frac{V_1 \cdot K_1 \cdot 0.00054 \cdot 100}{5 \cdot d}$$

სადაც:

V₁ – ციანმჟავას გატიტვრაზე დახარჯული 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის მოცულობა, სმ³

K₁ – 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი

0.00054 – ციანმჟავას მასა, რომელიც შეესაბამება 0.01 ნ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარის 1 სმ³-ს, გ

5 – ციანმჟავას საანალიზოდ აღებული სინჯის მოცულობა, სმ³

d – საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე, გ/სმ³

გამოთვლილი X_1 -ის მნიშვნელობით, ცხრილი 27-დან, პოულობენ შესაბამის V_0 -ის მნიშვნელობას და ანგარიშობენ ციანმჟავას გატიტვრისთვის საჭირო 0.1 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობას.

საანალიზო სინჯში ძმარმჟავას მასური კონცენტრაცია (X_2), %-ში, გამოითვლება ფორმულით:

$$\%CH_3COOH = \frac{(ak_1 - v_2k_2 - v_0) \cdot 0.006}{v \cdot d} \cdot 100$$

სადაც:

v_1 – ტიტრაციაზე დახარჯული 0.1 ნ NaOH-ის მოცულობა, სმ³;

k_1 – 0.1 ნ NaOH-ის შესწორების კოეფიციენტი;

a – ანალიზისთვის აღებული ჭარბი 0.1 ნ NaOH-ის მოცულობა, სმ³;

v_2 – ჭარბი 0.1 ნ NaOH-ის ტიტრაციაზე დახარჯული 0.1 ნ HCl-ის მოცულობა, სმ³;

k_2 – 0.1 ნ HCl -ის შესწორების კოეფიციენტი;

v_0 – ციანმჟავას ტიტრაციაზე დახარჯული 0.1 ნ AgNO₃-ის რაოდენობა გადათვლილი 0.1 ნ NaOH-ზე, სმ³;

v – საანალიზო ხსნარის მოცულობა, სმ³;

d – საანალიზო ხსნარის სიმკვრივე, გ/სმ³;

0.006 – ძმარმჟავას მასა, რომელიც შეესაბამება 1 სმ³ 0.1 ნ NaOH-ის ხსნარს, გ.

ცხრილი 27. ციანმჟავას გატიტვრისთვის საჭირო 0,1 ნ ნატრიუმის ტუტის ხსნარის მოცულობის გამოთვლა V_0 -ის მნიშვნელობის მიხედვით

$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ ლმ ³	$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ ლმ ³	$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ ლმ ³
0.002	0.07	0.056	2.07	0.110	4.07
0.004	0.15	0.058	2.15	0.112	4.15
0.006	0.22	0.060	2.22	0.114	4.22
0.008	0.30	0.062	2.30	0.116	4.30
0.010	0.37	0.064	2.37	0.118	4.37
0.012	0.44	0.066	2.44	0.120	4.44
0.014	0.52	0.068	2.52	0.122	4.52
0.016	0.59	0.070	2.59	0.124	4.59
0.018	0.67	0.072	2.67	0.126	4.67
0.020	0.74	0.074	2.74	0.128	4.74
0.022	0.81	0.076	2.81	0.130	4.81
0.024	0.89	0.078	2.89	0.132	4.89

ცხრილი 27. გაგრძელება

$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ სმ ³	$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ სმ ³	$X_1(\text{HCN}), \%$	$V_0(\text{NaOH}),$ სმ ³
0.026	0.96	0.080	2.96	0.134	4.96
0.028	1.04	0.082	3.04	0.136	5.04
0.030	1.11	0.084	3.11	0.138	5.11
0.032	1.19	0.086	3.19	0.140	5.19
0.034	1.26	0.088	3.26	0.142	5.26
0.036	1.33	0.090	3.33	0.144	5.33
0.038	1.41	0.092	3.41	0.146	5.41
0.040	1.48	0.094	3.48	0.148	5.48
0.042	1.56	0.096	3.56	0.150	5.56
0.044	1.63	0.098	3.63	0.152	5.63
0.046	1.70	0.100	3.70	0.154	5.70
0.048	1.78	0.102	3.78	0.156	5.78
0.050	1.85	0.104	3.85	0.158	5.85
0.052	1.93	0.106	3.93	0.160	5.93
0.054	2.00	0.108	4.00	0.162	6.00
0.164	6.07	0.218	8.07	0.272	10.07
0.166	6.15	0.220	8.15	0.274	10.15
0.168	6.22	0.222	8.22	0.276	10.22
0.170	6.30	0.224	8.30	0.278	10.30
0.172	6.37	0.226	8.37	0.280	10.37
0.174	6.44	0.228	8.44	0.282	10.44
0.176	6.52	0.230	8.52	0.284	10.52
0.178	6.59	0.232	8.59	0.286	10.59
0.180	6.67	0.234	8.67	0.288	10.67
0.182	6.74	0.236	8.74	0.290	10.74
0.184	6.81	0.238	8.81	0.292	10.81
0.186	6.89	0.240	8.89	0.294	10.89
0.188	6.96	0.242	8.96	0.296	10.96

ცხრილი 27. გაგრძელება

X ₁ (HCN), %	V ₀ (NaOH), სმ ³	X ₁ (HCN), %	V ₀ (NaOH), სმ ³	X ₁ (HCN), %	V ₀ (NaOH), სმ ³
0.190	7.04	0.244	9.04	0.298	11.04
0.192	7.11	0.246	9.11	0.300	11.11
0.194	7.19	0.248	9.19	0.302	11.19
0.196	7.26	0.250	9.26	0.304	11.26
0.198	7.33	0.252	9.33	0.306	11.33
0.200	7.41	0.254	9.41	0.308	11.41
0.202	7.48	0.256	9.48	0.310	11.48
0.204	7.56	0.258	9.56	0.312	11.56
0.206	7.63	0.260	9.63	0.314	11.63
0.208	7.70	0.262	9.70	0.316	11.70
0.210	7.78	0.264	9.78	0.318	11.78
0.212	7.85	0.266	9.85	0.320	11.85
0.214	7.93	0.268	9.93	0.322	11.93
0.216	8.00	0.270	10.00	0.324	12.00

2.7. ამიაკის წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური ანალიზის მეთოდის შემუშავებისას მიღებული შედეგების განსჯა

ამიაკის წარმოება, რომელიც მრავალი ათეული წელია რაც ფუნქციონირებს, ენერგოტევადია. წარმოებაზე დახარჯული გაუმარილოებული წყლის, ელექტროენერჯის, ბუნებრივი აირის და ორთქლის რესურსები საკმაოდ მაღალია, ხოლო ენერგორესურსების დიდი ღირებულების გამო ამიაკის და მისგან ნაწარმოები პროდუქტების თვითღირებულებაც იზრდება. აქედან გამომდინარე, დიდი ყურადღება ექცევა ენერგოდანახარჯების შემცირებას და ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარებას. ამის ერთ-ერთი ნათელი მაგალითია ამიაკის წარმოებაში გამოყენებული მონოეთა-

ნოლამინის ჩანაცვლება უფრო მაღალტექნოლოგიური აქტივირებული აბსორბენტით. მონოეთანოლამინი ნახშირორჟანგის მიმართ დაბალი ტევადობით ხასიათდებოდა, რისთვისაც კონვერტირებული აირის ნახშირორჟანგისაგან გაწმენდის სტადიაზე აბსორბცია-რეგენერაციის კვანძზე აბსორბენტის მაღალი ცირკულაცია იყო საჭირო, რეგენერაციისათვის კი ორთქლის მაღალი ხარჯი ესაჭიროებოდა. პიპერაზინით აქტივირებული მეთილდიეთანოლამინის შემთხვევაში ნახშირორჟანგის მიმართ მაღალი ტევადობის ხარჯზე, რეგენერაციისათვის საჭირო ორთქლი თითქმის განახევრებულია, რეგენერაციის სტადიაზე გამოთავისუფლებული ორთქლის ბაზაზე წარმოებაში დაიდგა 9 მგვტ/სთ სიმძლავრის ელექტროგენერაციისათვის კონდენსაციური ელექტროსადგური, რომელიც გარდა ელექტროენერგიისა 25-30 ტ/სთ, რაოდენობის 80°C ტემპერატურის მქონე ორთქლის კონდენსატს გამოიმუშავებს, რომელიც ანაცვლებს ამავე რაოდენობით გაუმარილოებული წყლის ქვაბების კვებაზე.

ზემოთაღწერილი ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარების შედეგად საჭირო იყო აქტივირებული აბსორბენტის მწარმოებელი კომპანია DOW-ის მიერ მიწოდებული ხსნარების ანალიზი, როგორც ნედლეულისათვის, ასევე ტექნოლოგიური პროცესისათვის. კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურება, რაც ახალი აბსორბენტისათვისაა დამახასიათებელი, არის ის, რომ მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევი ტექნოლოგიურ პროცესში ექსპლუატაციისას განიცდის ურთიერთთანაფარდობის ცვალებადობას, რაც შემდგომ ხსნარის შედგენლობის დაკორექტირებას ითხოვს. ყოველივე ამისათვის კი აუცილებელი იყო ხსნარის ქიმიური შედგენილობის კონტროლი. კომპანია DOW-ის მიერ მოწოდებული იყო ქიმიური ანალიზის მეთოდოლოგია, რომელიც აბსორბენტში საერთო ამინების განსაზღვრას ითვალისწინებდა, ხოლო მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ცალკე განსაზღვრას კი არა. საერთო ამინების განსაზღვრისას გამოყენებული ტიტრი-91.02 კი გაურკვეველი იყო, რატომ იყო გამოყენებული. ასევე

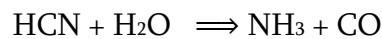
აღსანიშნავია, რომ საერთო ამინების ანალიზის მეთოდი მოცემული იყო მხოლოდ pH-მეტრის გამოყენებით.

ჩვენს მიერ მოპოვებული იქნა ინდივიდუალური ნივთიერებები: მეთილდიეთანოლამინი და პიპერაზინი, რომელთა ბაზაზე დავამზადეთ როგორც მათი ხსნარები ინდივიდუალურად, ასევე ურთიერთნარევები. დავადგინეთ ექვივალენტობის წერტილები მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინისათვის. პიპერაზინის ექვივალენტობის წერტილის დადგენისას აღმოჩნდა, რომ მას გააჩნდა 2 ექვივალენტობის წერტილი pH=6.7 და pH=4.2-ზე. სწორედ ეს გახდა საფუძველი ამინების ნარევის ანალიზური მეთოდით დაყოფისათვის. შერჩეულ იქნა ინდიკატორები, ბრომთიმოლლურჯი და ბრომფენოლლურჯი, რომელიც შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ამინების ნარევაში მათი ინდივიდუალური განსაზღვრისათვის. გაანგარიშებების საფუძველზე ჩვენს მიერ დადგენილი იქნა, რომ აქტივირებულ აბსორბენტში საერთო ამინების 82.5%-ს შეადგენს მეთილდიეთანოლამინი, ხოლო 17.5%-ს კი პიპერაზინი. ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი არის ის, რომ ტექნოლოგიურ პროცესში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური შედგენილობის სტაბილურობა განაპირობებს კონვერტირებული აირიდან ნახშირორჟანგის ეფექტურ აბსორბციას, ხოლო აბსორბენტის ქიმიური შედგენილობის კონტროლისათვის საჭირო აქტივირებული აბსორბენტის შედგენილობის ანალიზის მეთოდები, რომლებიც ჩვენს მიერ არის შემუშავებული.

2.8. ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ქიმიური ანალიზის შემუშავებისას მიღებული შედეგების განსჯა

ციანმჟავას წარმოება რუსთავის აზოტში გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან ფუნქციონირებს და ეფუძნება ანდრუსოვის მეთოდს, რომელიც გულისხმობს ამიაკისა და მეთანის დაჟანგვას ჰაერის ჟანგბადით. ციანმჟავას

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნაკლოვანება, მისი არასტაბილურობაა. იგი მიდრეკილია პოლიმერიზაციისაკენ. ლიტერატურული მიმოხილვის თავში დეტალურადაა აღწერილი ციანმჟავას პოლიმერიზაციის მექანიზმი, ამიტომ მასზე აღარ შევჩერდებით, მხოლოდ ავლნიშნავთ, რომ მისი ინიციატორი ტუტოვანი ბუნების ნივთიერებებია. ციანმჟავას ამ თვისების გამო მისი წარმოების მთელს ტექნოლოგიურ პროცესში მჟავური გარემოა შექმნილი, ტუტოვანი ბუნების ნივთიერების შესაკავშირებლად. სწორედ ამიტომ, ციანმჟავას აბსორბცია-რექტიფიკაციის სტადიაზე ცირკულაციურ აბსორბენტში გამოყენებულია მჟავა, რომელიც იკავშირებს წინა სტადიებიდან კონტაქტურ აირებში დარჩენილ ამიაკს. აბსორბენტში მჟავას კონცენტრაციას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, რადგანაც ციანმჟავას პოლიმერიზაციის პროცესი ავტოკატალიზური პროცესია და შესაძლოა აფეთქებით დამთავრდეს. გარდა სისტემიდან მოხვედრილი ამიაკისა, მომატებულ ტემპერატურაზე თვითონ ციანმჟავა განიცდის ჰიდროლიზს ამიაკის წარმოქმნით, შემდეგი რეაქციით:



აბსორბცია-რექტიფიკაციის სტადიაზე ათწლეულების განმავლობაში გამოიყენებოდა ორთოფოსფორმჟავა, ციანმჟავას პოლიმერიზაციის ინჰიბირებისათვის, მაგრამ პოლიმერიზაციის პროცესი სისტემაზე მაინც ხდებოდა 30-40 დღის შუალედებში. გარდა იმისა, რომ ციანმჟავას პოლიმერიზაციის პროცესი საშიში პროცესია, სისტემის პოლიმერისაგან გასუფთავების პროცესი ხანგრძლივი და შრომატევადი სამუშაოა. ამიტომ საკითხი იდგა უფრო ეფექტური პოლიმერიზაციის ინჰიბიტორის დანერგვისა. ციანმჟავას ადვილად აქროლადი თვისებებიდან გამომდინარე, უმჯობესი იყო დანერგილიყო აქროლადი მჟავა პოლიმერიზაციის ინჰიბიტორად, რადგანაც იგი აირად ფაზაშიც შეძლებდა ამიაკის მოლეკულების შეკავშირებას. სწორედ ამ მოსაზრების გამო დაინერგა ძმარმჟავა პოლიმერიზაციის ინჰიბიტორად, ვინაიდან ორთოფოსფორმჟავასგან განსხვავებით იგი აქროლადობით ხასიათდება. აღნიშნული ცვლილებების გამო აუცილებელი გახდა ძმარმჟავა

ციანმჟავას ნარევი მათი ინდივიდუალური განსაზღვრის მეთოდი. რაც შეეხება ორთოფოსფორმჟავას ანალიზს, იგი ფოტოკოლორიმეტრით ხორციელდება ამონიუმის მოლიბდატთან შეფერილი ფოსფომოლიბდატური კომპლექსის წარმოქმნის გამო.

ძმარმჟავას ანალიზის მეთოდის შემუშავებისას პირველ რიგში მოვიძიეთ ტექნიკური ძმარმჟავას ანალიზის მეთოდი, რომელიც მდგომარეობდა პირდაპირ გატიტრებაში ნატრიუმის ტუტით ინდიკატორი ფენოლფტალეინის თანაობისას. აღნიშნული მეთოდი ციანმჟავას თანაობისას არ გამოვიდოდა, რადგანაც სატიტრავი ხსნარი დაიხარჯებოდა ორივე მჟავას გატიტრებაზე, ამიტომ შემდეგ ეტაპზე ალიქვოტის პირდაპირი ტიტრაციისას დახარჯული სატიტრავი ხსნარის მოცულობას გამოვაკელით ციანმჟავას ტიტრაციაზე დახარჯული სატიტრავი ხსნარის რაოდენობა. თავის მხრივ, ციანმჟავაზე დახარჯული ტუტის ხსნარის რაოდენობა დგინდებოდა გამოთვლით, ხოლო თვითონ ციანმჟავას შემცველობა დგინდებოდა სხვა ალიქვოტიდან ლიბიხ-დენჟეს მეთოდით. ამ მიმართულებით კვლევების ჩატარებისას აღმოჩნდა, რომ მოდელური ხსნარების გათვლილი კონცენტრაციები არ ეთანადებოდა ქიმიური ანალიზით მიღებულ კონცენტრაციებს ძმარმჟავას ნაწილში. ამის მიზეზი, როგორც მოგვიანებით აღმოჩნდა, იყო მჟავების აქროლადობა, რაც იმას ნიშნავს, რომ პირდაპირი ტიტრაციის პროცესში ადგილი ქონდა აქროლადი მჟავების დანაკარგს კოლბიდან. კვლევის შემდეგი ეტაპი იყო ძმარმჟავას განსაზღვრა უკუტიტრაციის მეთოდით, რამაც დადებით შედეგებამდე მიგვიყვანა. ამ უკანასკნელით საანალიზო ალიქვოტი შეგვქონდა ჭარბ ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ცნობილი რაოდენობისა და კონცენტრაციის ხსნარში, რომელსაც ვტიტრავდით მჟავით. ამ შემთხვევაში მიღებული შედეგები უკვე მისაღები იყო.

დასკვნა

1. შემუშავებულ იქნა მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ქიმიური ანალიზის ტიტრიმეტრული მეთოდები.
2. დადგენილ იქნა, რომ 1 ნ მარილმჟავით ტიტრაციისას მეთილდიეთანოლამინის ექვივალენტობის წერტილი არის $pH=6.70$, ხოლო პიპერაზინს გააჩნია 2 ექვივალენტობის წერტილი: პირველი $pH=6.70$, ხოლო მეორე $pH=4.20$.
3. დადგენილია, რომ მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ნარევის 1 ნ მარილმჟავით ტიტრაციისას ექვივალენტობის წერტილები არ იცვლება: $pH=6.70$ -ზე იტიტრება მეთილდიეთანოლამინი მთლიანად და პიპერაზინის ნახევარი, ხოლო $pH=4.20$ -ზე პიპერაზინის დარჩენილი მეორე ნახევარი.
4. ექვივალენტობის დადგენილი წერტილებისთვის შერჩეულ იქნა შესაბამისი ინდიკატორები: ექვივალენტობის პირველი წერტილისთვის ბრომთიმოლლურჯი, ფერის ცვლის დიაპაზონი $pH=6.0-7.6$. ექვივალენტობის მეორე წერტილისთვის კი ბრომფენოლლურჯი, ფერის ცვლის დიაპაზონი $pH=3.0-4.6$.
5. შემუშავებულია მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ქიმიური ანალიზის საანგარიშო ფორმულები, რომელთა უტყუარობა გადამოწმებულია მოდელურ ხსნარებზე ჩატარებული ანალიზების სერიით.
6. გათვლების საფუძველზე დადგენილია, რომ აქტივირებული აბსორბენტის მწარმოებლის მიერ მოწოდებული საერთო ამინების განსაზღვრის მეთოდის საანგარიშო ფორმულაში გამოყენებული რიცხვი 91.02 მართებულია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც საერთო ამინების 82.5% მეთილდიეთანოლამინია, ხოლო 17.5% პიპერაზინი.
7. შემუშავებული და დანერგილია აქტივირებულ აბსორბენტში მეთილდიეთანოლამინისა და პიპერაზინის ინდივიდუალურად განსაზღვრის მეთოდები როგორც ნედლეულის, ასევე ტექნოლოგიურ პროცესში მომუშავე ხსნარებისთვის.

8. მეთილდიეთანოლამინის და პიპერაზინის ინდივიდუალური განსაზღვრის ტიტრიმეტრული მეთოდის შემუშავებამ შესაძლებლობა მოგვცა გვეკონტროლებინა მეთილდიეთანოლამინსა და პიპერაზინს შორის ურთიერთთანაფარდობა. ხოლო სხვადასხვა მიზეზით გამოწვეული ურთიერთთანაფარდობის რღვევისას ოპერატიულად აღმოგვეჩინა მიზეზი და დაგვეკორექტირებინა კომპონენტთა კონცენტრაციები.
9. შემუშავებული იქნა ციანმჟავასა და ძმარმჟავას ინდივიდუალურად განსაზღვრის ტიტრიმეტრული მეთოდები.
10. შესწავლილ იქნა პირდაპირი ტიტრაციის მეთოდით მიმდინარე რეაქცია. პირდაპირი ტიტრაციის მეთოდის მოდელურ ხსნარებზე შემოწმებისას აღმოჩნდა, რომ ძმარმჟავას განსაზღვრისას ადგილი ჰქონდა მნიშვნელოვან ცდომილებებს, ამიტომ ჩვენს მიერ შემუშავებული იქნა უკუ-ტიტრაციის მეთოდი.
11. შემუშავებულია ციანმჟავა ძმარმჟავას ნარევის ანალიზის საანგარიშო ფორმულები, რომელთა უტყუარობა გადამოწმებულია მოდელურ ხსნარებზე ჩატარებული ანალიზების სერით.
12. ჩვენს მიერ შემუშავებული და დანერგილია ციანმჟავა ძმარმჟავას ნარევაში მათი ინდივიდუალურად განსაზღვრის ტიტრიმეტრული მეთოდები.
13. ციანმჟავას წარმოების აქტივირებული აბსორბენტის ანალიზის მეთოდის შემუშავებამ შესაძლებლობა მოგვცა გვეკონტროლებინა აბსორბენტში ძმარმჟავას შემცველობა, რომლის ნაკლებობის შემთხვევაში ადგილი ექნებოდა ციანმჟავას პოლიმერიზაციას, რომელიც ავტოკატალიზური თვისებებიდან გამომდინარე აფეთქებით შეიძლება დამთავრდეს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. https://himikatus.ru/art/ch-act/0353.php?fbclid=IwAR19GW0yr4CNipG4_Hohf2ioTnXXcCTiabXKMeXluEL9_HhjEoYT0B1tj14 - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.09.2022
2. <https://foxford.ru/wiki/himiya/proizvodstvo-ammiaka> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.09.2022
3. ამიაკის სინთეზის რეგლამენტი, 2017
4. Справочник Азотчика., том I., Изд: «Химия»., 1986г., с. 213
5. https://matthey.com/documents/161599/440823/JM+Purification+catalysts+product+brochure+%28c2020%29.pdf/733dbd51-0c57-7315-57ee-38ec7d720864?t=1653488601038&fbclid=IwAR2FFPS8J-VtqkvUV_Z6pujIEnZOj7jmWzmuTlnilibPxFYXOT6FS2pKKXM- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 08.06.2022
6. https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2019/03/12/10/14/ActiSorb-S-2?fbclid=IwAR12uuc3MTRF_VfXWZ49MlZmvs7in7jlsbPc-dfVM_c8mX1NhvTbzg2pTCw- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 11.05.2022
7. <https://stroitelstvo-gid.ru/otoplenie/pech-riforminga-ammiaka-princip-raboty.html> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.09.2022
8. <https://matthey.com/documents/161599/440823/JM+Steam+reforming+catalysts+product+brochure+%28c2019%29.pdf/13d52dfd-b360-b4a0-8033-ea26d698f638?t=1653488601790> – უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 11.05.2022
9. https://www.topsoe.com/our-resources/knowledge/our-products/catalysts/rkc-2-7h?fbclid=IwAR2tprn_DIFbToEGOFi6RrFaZ9PmG4HMDjDltP1ldgzsQ1BnRqD-Obog6M - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 11.05.2022
10. Вакк Э.Г., Шуклин Г.В., Лейтес И.Л. Получение технологического газа для производства аммиака, метанола, водорода и высших углеводов: учебное пособие. М., 2011. 480 с
11. <https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2019/02/15/09/24/ShiftMax-120?fbclid=IwAR3b9iWmefH2GMXWP-3Ytmw1hUIW0iv6NcoxAfat-ozv4qUgOXZgD5x0klc> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.09.2022
12. <https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2019/02/15/09/47/ShiftMax-217?fbclid=IwAR2gV8Ja1ew-FsZhYHEM-8GyjX4pXPD79fFdRGnKnSZ9iK6q8GzQfn2tO8k-> უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.09.2022
13. Синтез катализатора низкотемпературной конверсии монооксида углерода в производстве аммиака., А.А. Ильин., К.А. Верес., Химия и химическая технология., 2021 г. с. 91
14. https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2019/03/13/08/21/METH-135?fbclid=IwAR12uuc3MTRF_VfXWZ49MlZmvs7in7jlsbPc-dfVM_c8mX1NhvTbzg2pTCw- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.07.2022

15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021951799926283?fbclid=IwAR2edIkJSmPe1a32BlKogCvYWtnzRUPTifNPPy2QDqljX98WQLF3dh2reyI> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.09.2022
16. https://chemtech.ru/ob-jeffektivnosti-membranoj-tehnologii-izvlechenija-vodoroda-iz-produvochnyh-i-tankovyh-gazov-sinteza-ammiaka/?fbclid=IwAR0mjo8kySks-ZKEd6aDGgtvA0fem9xvA_cUuhWQ3Op-nC3SvOmrGkxG34U- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.07.2022
17. Аналитический контроль производства в азотной промышленности , т-20 , Изд. „Химия” 1972 г, стр 66
18. Ю.М. Кострикин , Н.М. Калинина , Н. Н. Манькина, Б. С. Федосеев „Анализ качества воды , пара и отложений в теплосиловом хозяйстве, СПб Энерготех 2004 г, стр. 166
19. методические инструкции аналитического контроля цеха водоснабжения, стр. 66
20. Аналитический контроль производства в азотной промышленности, т-1, 1956 г, стр. 119
21. ОСТ 34-70-953.23-92- Воды производственные тепловых электростанций. Методы определения кислорода
22. ГОСТ 28326.4-89 АММИАК ЖИДКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
23. <https://www.britannica.com/science/chromatography>- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 14.06.2022
24. <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Хроматография?fbclid=IwAR0XmyAFtj4jsCDgiBAbae4aoQRLIV3OX9uMuX5Jm8jbbLjRTJVuSuRjiTA>- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 14.06.2022
25. <https://www.meta-chrom.ru/company/articles/gas-chromatographs/?fbclid=IwAR2NNff6MKhpQhTqKNcx4RVOPX7VMcEX3kktW eZFC2f7oRMo1mx9MNKWFMU>- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 14.06.2022
26. https://www.gluvelab.com/blog/kak_rabotaet_gazovyy_khromatograf.html?fbclid=IwAR30W_eaTsJDDun80HPv-3-sH1FPwORVYrJf9yDUMRdjHMRp85lX3ArjQSE- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 14.06.2022
27. Справочник Химика , „Химия и химическая технология, стр 114, Москва , 1966 г
28. Еремина Б.Г. „ Газовый анализ” , Госхимиздам, 1955 г
29. Аналитический контроль производства в азотной промышленности, Госхимиздам, Москва , 1956 г , стр 50
30. Аналитический контроль производства в азотной промышленности, том 7, Госхимиздам , Москва, 1958 г , стр 92
31. Аналитический контроль производства в азотной промышленности, том 2, Госхимиздам , Москва, 1956 г , стр 54
32. Аналитический контроль производства в азотной промышленности, том 15, Госхимиздам , Москва, 1968 г , стр 50

33. Ю.М. Кострикин , Н.М. Калинина , Н. Н. Манькина, Б. С. Федосеев „Анализ качества воды , пара и отложений в теплосиловом хозяйстве, СПб Энерготех 2004 г
34. კონდუქტომეტრის Sanxin DDS-11C პასპორტი
35. https://ion-lab.ru/okislyaemostvodyi/?fbclid=IwAR24Ima0hihUuHrLu4fxbAWYHCq3uQ_4nsgFA6EvD41OfoHfpNGYWe5HPKk - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 14.06.2022
36. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. Москва, 1974 г , Издательство „Химия”
37. ხელსაწყოს Inolab wtw 7310 პასპორტი
38. ამიაკის სინთეზის საამქროს ანალიზური მეთოდების კრებული,2017წ
39. Аналитический контроль производства в азотной промышленности, том 3, Москва, 1957 г , стр 102
40. Получение синильной кислоты по методи Андрусова , Г.И. Гринь, Н.В. Трусов, А.Я. Лобойко, Н.В. Кошовец, Харьков,1999 г
41. ციანმჟავას წარმოების ტექნოლოგიური რეგლამენტი,2017წ
42. Технологія зв'язного азоту, О.Я. Лобойка НТУ „ХПІ”,2007Г, СТ 335
43. <https://patents.google.com/patent/RU2212272C1/ru> Платиноидный катализатор в форме проволочной сетки - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 21.08.2022
44. С.С. Бобков., С.К. Смирнов „Синильная кислота» Изд. Химия., М., 1970 г. с. 103-120
45. Березина В.Ф. Коскина Н.А. Мешенко Н.Т. , „Синтез синильной кислоты” 1989 г.
46. Гост 31371.7-2020. Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 7. Методика измерений молярной доли компонентов
47. ციანმჟავას წარმოების ანალიზური მეთოდების კრებული, 2017 წ
48. методические инструкции аналитического контроля цеха водоснабжения, стр.75
49. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Этаноламин> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 21.08.2022
50. <https://neftegaz.ru/tech-library/neftekhimiya/142167-monoetanolamin/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 21.08.2022
51. <https://sintez-oka.com/products/ethanolamines/mea/>- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 21.08.2022
52. <https://pcgroup.ru/blog/monoetanolamin-effektivnyj-absorbent-dlya-ochistki-tehnicheskikh-gazov/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 23.07.2022
53. „Методи розрахунків у технології неорганічних виробництв”. Частна 1. Проф. Лобойко О.Я. ; Проф. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. , Харків НТУ „ХПІ” 2001 г
54. <https://www.rushimset.ru/products/obshchaya-khimiya-dlya-proizvodstva-detergentov/monoetanolamin/>- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 23.07.2022

55. <https://www.ccenter.msk.ru/articles/monoetanolamin-praktika-primeneniya-i-metod-indikatcii.513> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 23.07.2022
56. И.Л. Лейтес; А.П. Селицкий; Р.С. Веранян «Моноэтаноламиновая очистка газов в производстве синтетического аммиака» Изд: Химия. 1970 г. с.9-15
57. <https://ru.wikipedia.org/wiki/MDEA> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.09.2022
58. <https://www.rushimset.ru/products/aminy/metildietanolamin/>- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 25.05.2022
59. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том III. «Неорганические и элементоорганические соединения». Под ред. Н.В.Лазарева и Э.Н.Левинной. Л., «Химия», 1977г. стр.107, 240
60. http://www.tokuyama-dental.com/tdc/pdf/msds/russia/49CLP_TOKUYAMA%20BOND%20FORCE%202_RU%20rev5.pdf] - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 25.05.2022
61. http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_16021.htm- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 25.05.2022
62. Журнал „Современные проблемы науки и образования“. – 2014. – № 5
63. Белов П.С. Голубева И.А. Низова С.А. «Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа» М., 1991 г
64. https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Пиперазин?fbclid=IwAR3m9w2c-m-Axp3fJQ4ytXgw_ka4DRQW4xbX5S5CZeAnJtRtkLth7hO_MAs- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.03.2022
65. Нейланд О.Я. Органическая химия. — М.: 1990. — 751 с
66. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ неорг. и органических веществ, теоретические основы, ТОМ 63 № 11 (2020) О РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ АМИНОГРУПП ПИПЕРАЗИНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОКИСЬЮ ЭТИЛЕНА
67. <https://nasrf.ru/baza-znaniy/typy-narkomanii/piperazin-i-ego-rekreacionnoe-ispolzovanie?fbclid=IwAR3hR4nY5Xk8IrfA8WZGVCv7INQYMXlBqL1kaOhULGK6NUQNXZcb3alJbFE> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.03.2022
68. <https://ru.frwiki.wiki/wiki/Piperazine>- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.03.2022
69. Применение активированного метилдиэтанолamina взамен моноэтанолamina на предприятиях азотной промышленности. Анализ имеющегося опыта и перспективы внедрения отечественного продукта. Рылеев Г.И., Михайлова Т.А., Лаврентьев И.А., Брюханков И.В.
70. Анализ применения новых сорбентов в процессах абсорбционной очистки технических и природных газов от сероводорода и углекислого газа. Доклад на семинаре в ОАО "Гипрогазоочистка" 21-23 мая 2001 года. (Лаврентьев И.А.)
71. https://ru.wikipedia.org/wiki/Ортофосфорная_кислота- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 17.04.2022

72. Краткая химическая энциклопедия. Государственное научное издательство «Советская энциклопедия». том 4. Москва, 1965 г. с.818-819
73. https://chemege.ru/fosfornaya-kislota/?fbclid=IwAR2-J5F8ShD_rnhjTUdlCYDDHxM9cJ1dcWFj4ePlvmse7SUztla1-f-l2I
74. https://www.products.pcc.eu/ru/blog/уксусная-кислота-уникальные-свойст/?fbclid=IwAR2_1v-bVFB9jBW4kGT0NET2z4p-BxfQcinOCaJipz5yXaqw1s3fcinLOZ4- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 17.04.2022
75. <https://bigenc.ru/chemistry/text/4218070?fbclid=IwAR0Y1dSIJN9t4JDUSyTCeBImDlrFTf93676bypeqGSMoIY0s7QyveC-nm5M-> უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 15.06.2022
76. https://ru.wikipedia.org/wiki/Уксусная_кислота- უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 18.03.2022
77. სადისერტაციო ნაშრომი: “ციანმჟავას წარმოების ტექნოლოგიური პარამეტრების დაზუსტება და ვარირება პროდუქტის გამოსავლიანობის გაზრდისა და საწარმოს სტაბილური მუშაობის უზრუნველყოფის მიზნით“ თამარ მამაგულიშვილი, ხელ-ლი: ლ. გვასალია; ვ. მაჭარაშვილი 2016 წ.
78. მერებაშვილი ნ. ამიაკისა და ციანმჟავას წარმოებებში გამოყენებული აბსორბენტების შეცვლა მაღალტექნოლოგიური აქტივირებული აბსორბენტებით, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი შრომები N 2 (524), 2022 წელი. გვ 33-38.
79. მერებაშვილი ნ., ცინცაძე მ., მაჭარაშვილი ვ., ს.ს. „რუსთავის აზოტის“ ამიაკისა და ციანმჟავას წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების მართვა ანალიზური კონტროლის შედეგების საფუძველზე, საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი" N23. 2022 წელი. გვ. 48-54.
80. მერებაშვილი ნ., ცინცაძე მ., მაჭარაშვილი ვ., მამაგულიშვილი თ., ს.ს. „რუსთავის აზოტი“-ს ციანმჟავას წარმოებაში გამოყენებული აქტივირებული აბსორბენტის ანალიზური კონტროლის მეთოდების შემუშავება, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი N.3, 2021. გვ.43-45.