

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თ. შაქარაშვილი, მ. ანდლულაძე

ნავთობის გადამუშავების ტექნოლოგიური საფუძვლები

I ნაწილი



დამტკიცებულია
სახელმძღვანელოდ სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

გადმოცემულია თანამედროვე ცნობები ნავთობის შედგენილობის, თვისებების, მათი კლასიფიკაციის, აგებულების, კომპონენტების გამოყოფის, ფრაქციებად დაყოფის და გადამუშავების პროცესების შესახებ. განხილულია ნავთობის გადამუშავების პერსპექტივები, ნავთობპროდუქტების საექსპლუატაციო თვისებები და სამრეწველო გამოყენება.

განკუთვნილია ნავთობისა და ნავთობის გადამუშავების ტექნოლოგიის უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტების, მაგისტრანტებისა და ასპირანტებისათვის.

რეცენზენტები: პროფ. გ. არეშიძე,

პროფ. თ. ზოშტარია

განხილულია ნავთობის, ბუნებრივი აირის და ნავთობპროდუქტების გადამუშავების პროცესები. მოცემულია ძირითადი ცნობები ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების თვისებების, კატალიზატორებისა და კატალიზური პროცესების, ნავთობის გამოსახდელად მომზადების, რექტიფიკაციის პრინციპების, ნავთობის პირველადი და მეორეული (დეპარაფინიზაცია, ბიტუმის წარმოება) გადამუშავების თანამედროვე დანადგარების ტექნოლოგიური სქემების, გადამუშავების პროდუქტების კატალიზური გაკეთილშობილების შესახებ; განხილულია აგრეთვე არომატული ნახშირწყალბადების წარმოებისა და მსუბუქი ნახშირწყალბადოვანი ფრაქციების იზომერიზაციის საკითხები. ნავთობის გადამუშავების ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესების სქემების რეკონსტრუქციისა და მოწყობილობის სრულყოფის შესაძლებლობები; გაზიარებულია საზღვარგარეთის მოწინავე ქვეყნების გამოცდილება ნავთობის გადამუშავების სფეროში.

წიგნი სახელმძღვანელოს სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს „ნავთობისა და ბუნებრივი აირის გადამუშავების ტექნოლოგიის“, „ორგანულ ნივთიერებათა და ნავთობპროდუქტების ქიმიური ტექნოლოგიის“, „ელექტრული ინჟინერინგის“, „ნავთობისა და გაზის ჭაბურღილების ბურღვის ტექნიკის და ტექნოლოგიის“, თბილისის იჯავახიშვილის სახ. უნივერსიტეტის ქიმიის ფაკულტეტის ნავთობის დარგის მაგისტრანტების და სტუდენტების ბათუმის ფილიალის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სტუდენტების მოსამზადებლად წარმოებისათვის.

წიგნი სარგებლობას მოუტანს და დიდ დახმარებას გაუწევს მაგისტრანტებს, ასპირანტებს, აგრეთვე ნავთობგადამამუშავებელ დანადგარებზე და მონათესავე სპეციალობის სფეროში მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკურ პერსონალს ნავთობისა და მისი გადამუშავების შესახებ ცოდნის გაღრმავებაში.

ავტორები იმედოვნებენ, რომ სახელმძღვანელო აქტიურ გამოხმაურებას დაიმსახურებს, რადგან იგი პირველი სახელმძღვანელოა ქართულ ენაზე ნავთობის გადამუშავების ტექნოლოგიაში. ყოველგვარი საკმიანი შენიშვნა ან რჩევა სიამოვნებით იქნება მიღებული ავტორების მიერ და გათვალისწინებული შემდგომ გამოცემაში.

ნავთობი და მისგან წარმოებული ნავთობური სისტემები სხვადასხვა საბუნებისმეტყველო მეცნიერების შესწავლის საგანია. ნავთობის თანამედროვე ქიმიის ჩამოყალიბდა ფიზიკური, ორგანული და ანალიზური ქიმიის მეთოდური მიდგომის ბაზაზე.

ნავთობის ქიმიის შესახებ თვალსაზრისმა განიცადა თანდათანობითი ტრანსფორმაცია და დღეისათვის იგი ჩამოყალიბდა როგორც მეცნიერება ნავთობის ქიმიის დარგში. მის განვითარებაში დიდი წვლილი მიუძღვით ისეთ მეცნიერებს, როგორებიცაა: დ. მენდელეევი, ნ. ზელინსკი, ვ. მარკოვნიკოვი, ვ. იაპტიევი, პლატე, ნ. შუიკინი, მამინაფევი, ნ. სერგეენკო, ა. პეტროვი და სხვ. აქვე უნდა აღვნიშნოთ ქართველ ქიმიკოსთა ღვაწლი საქართველოში ნავთობის ქიმიისა და გადამუშავების საქმეში, კერძოდ, ლ. მელიქაძის, ქ. არეშიძის, ნ. ბეჟურის, ე. ბენაშვილის, თ. ელიავას, თ. ჩარკიანის და სხვ.

ნავთობი გარდა მისი ტრადიციული გამოყენებისა, საინტერესო გახდა მასში უცნობი ნაერთების აღმოჩენით, რომლებმაც უბიძგა მეცნიერებას ორგანული ნივთიერებების სინთეზის ახალი მეთოდების ძიებისაკენ. ამის საუკეთესო მაგალითია 30-40 წლის წინ ნავთობში ადამანტანის აღმოჩენა და შემდგომში მისი სინთეზის საწარმოო მნიშვნელობის გზების პოვნა და მის ბაზაზე სამკურნალო პრეპარატების შექმნა. ამას მოჰყვა α -ოლეფინებისა და რელიქტური ნახშირწყალბადების აღმოჩენა, ნავთობის წლოვანების დადგენა; მენდელეევის მიერ ნავთობიდან გამოყოფილ იქნა პენტანები და ჰექსანები; კურბატოვმა სხვებთან ერთად აღმოაჩინა C_nH_{2n} საერთო ფორმულის მქონე ნახშირწყალბადების ნარევი, ხოლო შემდეგ მარკოვნიკოვმა სხვებთან ერთად დააგინა, რომ ნაფთენები ძირითადად შედგებოდა ექვსწევრიანი ციკლისაგან. შემდგომში მათი მუშაობა გააგრძელეს ზელინსკიმ და მისმა მოწაფეებმა: ნამიოტკინმა, კაზანსკიმ, შუიკინმა და სხვ. ზელინსკიმ ფრაქციაში ნაფთენების არსებობის დასამტკიცებლად დაასინთეზა დიდი რაოდენობით მონო- და ბიციკლური ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები. ასეთი მიდგომით ფრაქციაში ნახშირწყალბადების შესწავლა ყველასათვის მისაწვდომი გახდა.

უფრო მოგვიანებით, ზელინსკის მიერ შესწავლილ იქნა ექვსწევრიანი ნაფთენების ჰიდრირება – დეჰიდრირების რეაქციები ლითონ-კატალიზატორებზე. შემდგომში ზელინსკიმ კაზანსკის, მოლდავსკის და კარაგევიანთან ერთად მიიღო არომატული ნახშირწყალბადები პარაფინული ნაერთებიდან.

XX საუკუნის 60-იან წლებში ნავთობპროდუქტების კვლევისათვის მეცნიერმა ცვეტმა შეიმუშავა ქრომატოგრაფიული ანალიზის მეთოდი. თანამედროვე მეთოდების მეშვეობით ნავთობიდან 1000-ზე მეტი ნაერთია (C_1 - C_{40} -ის ფარგლებში) იდენტიფიცირებული.

ნავთობის დეტალურ შესწავლას ქიმიური მრეწველობისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს. იგი მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყნისათვის ძირითად თბოენერგობალანსს შეადგენს, ვინაიდან, სხვა ენერგორესურსებთან შედარებით, ადვილად მოიპოვება და მისი გადამუშავებაც ფართო სპექტრით წარმოებს. მოპოვებული ნავთობიდან, მთელი მსოფლიოს მასშტაბით, რომელიც წელიწადში ~600 მილიარდ მ³ შეადგენს, გადამუშავებით მიიღება მრავალი სახეობის საწვავი და საცხი ზეთები.

თანამედროვე ეტაპზე ნავთობის ქიმიისა და მისი გადამუშავების ტექნოლოგიის გაუმჯობესებამ და გაღრმავებამ, ნავთობის კომპონენტების კატალიზური გაკეთილშობილების და ეკოლოგიური საკითხების გადაწყვეტის აუცილებლობამ მეცნიერებაში დიდი ინტერესი გამოიწვია.

აღსანიშნავია დღემდე შემორჩენილი აზრი იმის შესახებ, რომ ნავთობური სისტემები მოლეკულური ხსნარებია. მრავალკომპონენტიანი ნავთობის ფრაქციების დასახასიათებლად სარგებლობენ საშუალო მოლეკულური მასით, რომელიც შედის სიბლანტის, ნაჯერი ორთქლის წნევის, სიმკვრივის, თბომატარებლობის და სხვა პარამეტრების გამოსათვლელ ფორმულებში გარკვეული წნევის, მოცულობის და ტემპერატურის პირობებში. აღნიშნას იმსახურებს გურვიჩის მიერ ბერლინში გამოცემული ფუნდამენტური მონოგრაფია, რომელშიც გადმოცემულია პირველი მოსაზრებები ნავთობის ზედაპირული და კოლოიდურ-ქიმიური თვისებების შესახებ.

კოლოიდური ქიმიის პოზიციიდან გამომდინარე, ნავთობი მრავალკომპონენტიანი სისტემაა, რომელიც გარე პირობების ერთობლიობაზე დამოკიდებულებით ამჟღავნებს მოლეკულური ხსნარის ან დისპერსიული სისტემის თვისებებს.

ნავთობი, როგორც ბუნებრივი სიმდიდრე, მოითხოვს გაფრთხილებას და მის რაციონალურ გამოყენებას, განსაკუთრებით კარგი თვისებების მქონე საქართველოს მცირედებეტნიანი ნავთობები.

წიგნში სრულყოფილად აღწერილია ტექნოლოგიური პროცესები და ამ პროცესების მიხედვით აგებულია ტექნოლოგიური სქემები. სქემებში მოცემულია ძირითადი აპარატები, მათი აღწერილობა და გაანგარიშებები, აგრეთვე დანადგარების მოწყობილობა და ერთობლიობა, რაც წიგნის თითოეულ მომხმარებელს ნავთობგადამამუშავებელ ქარხნებზე გარკვეულ წარმოადგენას შეუქმნის.

I. ნავთობის ზოგადი მახასიათება

1.1. ნავთობის კლასიფიკაცია

ნავთობი ორგანულ ნივთიერებათა რთული ნარევი. იგი ძირითადად შედგება სხვადასხვა რიგის და აღნაგობის ნახშირწყალბადებისა და შედარებით მცირე რაოდენობით პეტეროორგანული ნერთებისაგან; აგრეთვე მიკრორაოდენობით პერიოდული სისტემის თითქმის ყველა ელემენტისაგან. ასეთი რთული ნარევის დაყოფა ინდივიდუალურ ნერთებად შეუძლებელია, თუმცა ამას არ მოითხოვს არც ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ტექნიკური მახასიათება და არც მისი სამრეწველო გამოყენება.

ნავთობის მნიშვნელოვანი მახასიათებელი მისი ფრაქციული შედგენილობაა.

ფრაქცია ანუ დისტილატი ნივთიერებათა ნარევი, რომელსაც აქვს დუღილის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურები.

ნავთობის სამრეწველო გამოხდისას იყენებენ არა ლაბორატორიულ თანდათანობით ერთჯერადი აორთქლების პროცესს, არამედ აორთქლების და კონდენსაციის ე.წ. რექტიფიკაციის პროცესს. ფრაქციებს, რომლებიც გამოიხდება 350°C -მდე რამდენადმე ჭარბი წნევისას, ატმოსფერულთან შედარებით, ნათელი დისტილატები ეწოდება. ჩვეულებრივ, ატმოსფერული გამოხდისას მიღებული ფრაქციების დასახელებას განსაზღვრავს მისი გამოყენების სფერო:

დ.ს. (დუღილის საწყისი) – 140°C –მსუბუქი ბენზინის ფრაქცია (მსუბუქი ნაფტა);

$140\text{--}180^{\circ}\text{C}$ –ლიგროინის ფრაქცია (მძიმე ნაფტა);

$140\text{--}220^{\circ}\text{C}$ ($180\text{--}240^{\circ}\text{C}$) – ნავთის ფრაქცია;

$180\text{--}350^{\circ}\text{C}$ ($220\text{--}350^{\circ}\text{C}$, $240\text{--}350^{\circ}\text{C}$) – ღიზელის ფრაქცია (მსუბუქი ან ატმოსფერული

გაზოილი, სოლარის დისტილატი).

ნათელი დისტილატების გამოხდის შემდეგ დარჩენილ მასას ეწოდება მაზუთი. მაზუთს ზღიან ვაკუუმის ქვეშ. ამ შემთხვევაში ნავთობის გადამუშავების მიმართულების მიხედვით მიიღება შემდეგი ფრაქციები:

$350\text{--}500^{\circ}\text{C}$ –ვაკუუმური გაზოილი (ვაკუუმური დისტილატი);

$>500^{\circ}\text{C}$ –ვაკუუმური ნარჩენი (გუდრონი).

ვაკუუმური გაზოილი შეიცავს ზეთების ფრაქციებს, რომელშიც შედის:

1) $350\text{--}420^{\circ}\text{C}$ –მსუბუქი ზეთის ფრაქცია (ტრანსფორმატორული დისტილატი);

2) $420\text{--}470^{\circ}\text{C}$ –საშუალო ზეთის ფრაქცია (სამანქანო დისტილატი);

3) $470\text{--}500^{\circ}\text{C}$ –მძიმე ზეთის ფრაქცია (ცილინდრული დისტილატი);

4) $>500\text{--}550^{\circ}\text{C}$ –გუდრონი.

მაზუთსა და მისგან მიღებულ ფრაქციებს უწოდებენ ბნელ ფრაქციებს.

სხვადასხვა ადგილმდებარეობის ნავთობები ერთმანეთისაგან განსხვავდება როგორც ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით, ისე ნათელი და ბნელი ფრაქციების შედგენილობით. ნავთობის ძირითადი ქიმიური ელემენტებია: ნახშირბადი და წყალბადი. ნახშირბადის შემცველობა ნავთობში 83-87%-ია, ხოლო წყალბადის 11,5-14%. ნავთობებში გვხვდება აგრეთვე აზოტ-, ჟანგბად- და გოგირდშემცველი ნაერთები. ნავთობში აღმოჩენილია ყველა ჰომოლოგიური რიგის ნახშირწყალბადები, ალკენების გარდა, თუმცა მათ არსებობაზეც არის ვარაუდი. ნავთობები ერთმანეთისაგან განსხვავდება ნახშირწყალბადების შემცველობით. ცნობილია ნავთობები ალკანების ან ციკლოალკანების (ნაფთენების) ან არენების მაღალი შემცველობით.

ნავთობის თვისებები და შედგენილობა განსაზღვრავს მისი გადამუშავების მიმართულებებს და მიღებული ნავთობპროდუქტების ხარისხს.

არსებობს ნავთობების კლასიფიკაცია ფრაქციული და ქიმიური შედგენილობის და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების მიხედვით.

ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების კლასიფიკაციის მიხედვით ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს სიმკვრივე. ამ ნიშნით ნავთობები იყოფა მსუბუქ ($\rho_{15}^t < 0,828$), საშუალო ($\rho_{15}^t = 0,828 \pm 0,884$) და მძიმე ($\rho_{15}^t > 0,884$) ნავთობებად. მსუბუქი ნავთობები დიდი რაოდენობით შეიცავს ნათელ, განსაკუთრებით ბენზინის ფრაქციებს, შედარებით ნაკლები რაოდენობით — მაღალმოლეკულურ ფისოვან და გოგირდნაერთებს. ამ ტიპის ნავთობებისაგან გამომუშავდება მაღალი ხარისხის სხვადასხვა ზეთი. მძიმე ნავთობები ხასიათდება ფისების მაღალი შემცველობით; მათგან ზეთების მიღება მოითხოვს დამუშავების სპეციალურ მეთოდებს. მძიმე ნავთობები საუკეთესო ნედლეულია ბიტუმების საწარმოებლად. ნავთობების კლასიფიკაცია სიმკვრივის მიხედვით მიახლოებითია.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით განასხვავებენ ნავთობებს: პარაფინულს, ნაფთენურს, არომატულს, ნაფთენურ-პარაფინულს, ნაფთენურ-არომატულს, პარაფინულ-ნაფთენურ-არომატულს თითოეულის სიჭარბით. რაც შეეხება დაყოფას ფრაქციების მიხედვით, ზემოთ უკვე იყო მოხსენებული.

ნავთობის კლასიფიკაცია წარმოებს გოგირდის შემცველობის მიხედვითაც. არსებობს მცირეგოგირდიანი (არა უმეტეს 0,2 %-ისა), გოგირდიანი (0,2-დან 0,5%-მდე) და მაღალგოგირდიანი (0,5%-ზე მეტი) ნავთობები. ისინი კლასიფიცირდებიან ტიპებად საბაზო ზეთების პოტენციური შემცველობის მიხედვით; ქვევსაზღვრად — საბაზო ზეთების სიბლანტის ინდექსის მიხედვით; საზევად — მყარი ალკანების შემცველობის მიხედვით.

ნავთობის წარმოშობის შესახებ რამდენიმე ჰიპოთეზა არსებობს. პირველი ჰიპოთეზა მოგვცა მ. ლომონოსოვმა 1757 წელს. მისი აზრით, ნავთობი ორგანული წარმოშობისაა. ლომონოსოვი ნავთობის წარმოშობის მიზეზად თვლიდა მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებას ბიოგენურ დანალექ კანებში არსებულ ორგანულ ნივთიერებებზე; მენდელეევი იზიარებდა ლომონოსოვის თეორიას, მაგრამ ამავე დროს გამოთქვამდა ჰიპოტეზას ნავთობის მინერალური წარმოშობის შესახებ. მენდელეევის აზრით, ნავთობი წარმოიქმნება დიდ სიღრმეებში მაღალი ტემპერატურის პირობებში წყლის ურთიერთქმედებით ლითონთა კარბიდებთან.

ბოლო საუკუნეებში დაგროვდა ქიმიური, გეოქიმიური და გეოლოგიური მონაცემების დიდძალი მასალა ნავთობის წარმოშობის შესახებ. დღესდღეობით მეცნიერთა (ქიმიკოსი, გეოქიმიკოსი და გეოლოგები) უმეტესი ნაწილი იზიარებს ნავთობის გენეზისის ორგანულ საფუძველს, თუმცა არსებობენ მეცნიერები, რომლებიც უპირატესობას ანიჭებენ ნავთობის მინერალურ წარმოშობას.

ზემოთ აღნიშნულის თანახმად, ნავთობი ძირითადად შეიცავს პარაფინულ, ნაფთენურ, არომატულ ნახშირწყალბადებს და აგრეთვე მათ ჰიდრიდებს. რთული აგებულებიდან გამომდინარე, ნავთობის შესწავლა მოითხოვს მის დაყოფას როგორც სხვადასხვა რიგის, ისე შემადგენელ ინდივიდუალურ ნახშირწყალბადებად. არსებობს დაყოფის სხვადასხვა მეთოდი. მაგ., ნავთობიდან ნ-ალკანების გამოყოფა შეიძლება გამოყენებით (მათი ფიზიკური თვისებებიდან გამომდინარე), გამოხდით მაღალღეწეპური სარექტიფიკაციო სეკტიდან, დასასრულ კარბამიდითა და ცეოლითით დამუშავებით.

არომატული ნახშირწყალბადების გამოყოფა და დაყოფა შეიძლება პერკოლაციური მეთოდით სხვადასხვა ალუმინილიკატებზე და ჰიდრიდების გზით კატალიზატორების თანაობისას.

ნაფთენური ნახშირწყალბადები ნავთობში რჩება იზოპარაფინებთან ერთად და მათი დაყოფა შესაძლებელია როგორც თერმოდოფუზორული, ასევე პერკოლაციური მეთოდით.

1.2. ნავთობის ნახშირწყალბადოვანი ნაერთები

ალკანები

სხვადასხვა ნავთობში ალკანების შემცველობა 2-დან 50%-მდე და უფრო მაღალ მნიშვნელობამდე მერყეობს. დაბალმოლეკულური ალკანების ძირითადი წყარო ბუნებრივი და ნავთობის თანმხლები აირებია. საბადოების შიგაპლასტური პირობები და პლასტური კომპონენტური შედგენილობა განსაზღვრავს საბადოს ტიპს – აიროვანს, აირკონდენსატურს ან ნავთობურს.

აირივანი საბადოს ძირითადი კომპონენტებია დაბალმოლეკულური ალკანები — მეთანი, ეთანი, პროპანი და ბუტანი, რომლებიც ნორმალურ პირობებში (0,1 მპა და 20°C) აირებს წარმოადგენენ. მათ გარდა, ბუნებრივი აირები შეიძლება შეიცავდეს ნახშირბადის დიოქსიდს, აზოტს და აგრეთვე ინერტულ აირებს: *He, Ar, Ne, Xe*. სუფთა აიროვან საბადოში თითქმის არ არსებობს კონდენსატი.

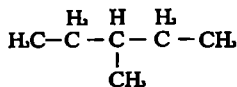
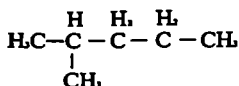
აიროვან საბადოებში, გარდა ნახშირწყალბადოვანი ნაწილისა, იმყოფება არანახშირ-წყალბადოვანი ნაერთების ნარევებიც, მათ შორის, მაღალი მოლეკულური მასების მქონენი, რომლებიც პლასტურ პირობებში (წნევა—25-40 მპა) აიროვან მდგომარეობაშია. პლასტში წნევის იზოთერმული დაწვეისას ბუნებრივი აირიდან გამოიყოფა მძიმე კომპონენტები სითხის (კონდენსატის) სახით. ასეთ ნარევეს აირკონდენსატებს უწოდებენ. კონდენსატის შემცველობა აირში დამოკიდებულია მის შედგენილობასა და პლასტურ პირობებზე (ტემპერატურა, წნევა და გარემო). აირკონდენსატის საბადოს მახასიათებელია აირკონდენსატის ფაქტორი, რომელიც ტოლია 1 მ³ აირში გახსნილი 1 მ³ კონდენსატისა საბადოს პლასტურ პირობებში. თუ აირკონდენსატის ფაქტორი არ აღემატება 10⁻⁴-ს, ჩვეულებრივ მიეკუთვნება აირკონდენსატურს.

ნავთობი პლასტში შეიცავს გახსნილ აირს, რომლის რაოდენობა ზასიათდება „აირშემცველობის“ სიდიდით. იგი ნავთობებისათვის მეთაილიდან რამდენიმე ასეულ მ³/ტ-მდე მერყეობს. ნავთობის ამოღებისას თანმზღები აირები შეიძლება გამოეყოს ნავთობს, თუ ნაჯერი წნევა აღემატება ატმოსფერულ წნევას. სარეწაო პრაქტიკაში სასაქონლო ნავთობად ითვლება ის პლასტური ნავთობი, რომელიც რჩება თხევად მდგომარეობაში ნარევის სარეწაო სეპარაციისა და სტანდარტულ პირობებთან (ნორმალურ) მიყვანის შემდეგ. ასეთ ნავთობში აირის შემცველობა 1 %-ზე ნაკლებია.

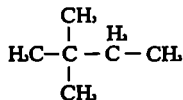
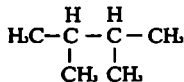
ნავთობიდან და ბუნებრივი აირებიდან გამოყოფილია ნორმალური აგებულების ყველა ალკანი, მეთანიდან ჰექსატრიკონტანის (C₃₆H₇₄) ჩათვლით, თუმცა არსებობს ცნობები, რომ ნ-ალკანები ნავთობში წარმოქმნის უწყვეტ ჰომოლოგიურ რიგს, რომელიც ვრცელდება C₆₅—C₆₆-მდე, სხვა მონაცემებით კი — C₇₈-მდე. როგორც წესი, ნ-ალკანების მაქსიმალური მოცულობა ნავთობებში განისაზღვრება ნ-ჰექსანით (1,8%) და ნ-ჰეპტანით (2,3%). მომდევნო ალკანების შემცველობა თანდათანობით მცირდება და ტრიაკონტანისათვის იგი 0,09%-ს აღწევს. შეიმჩნევა ნ-ალკანების შემცველობის შემცირების ტენდენცია ფრაქციების დუღილის ტემპერატურების გაზრდის მიხედვითაც.

ნავთობში შეიძლება არსებობდეს ნ-ალკანის ყველა შესაძლო იზომერი, ძირითადად ერთი განტოტვით, მცირე რაოდენობით — ორი განტოტვით. მეთილჩანაცვლებული ალკანები კლების ზარისხით განლაგებულია რიგში: 2-მეთილჩანაცვლებული ალკანები > 3-მეთილჩანაცვლებული ალკანები > 4-მეთილჩანაცვლებული ალკანები:

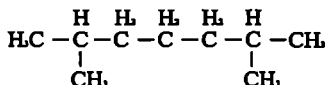
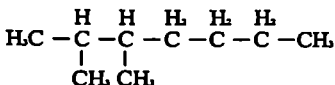
მაგ., ნ-პექსანის იზომერები: 2- და 3-მეთილპენტანები:



მაგ., 2,3- და 2,2- დიმეთილბუტანები:



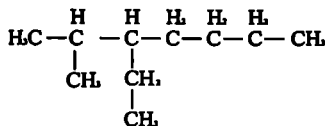
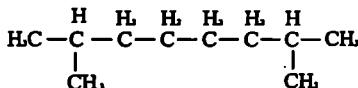
C_9 , ალკანებში აღმოჩენილია ორი ნახშირწყალბადის 2,3- და 2,6-დიმეთილპენტანების საკმაოდ მაღალი შემცველობა:



ფიქრობენ, რომ ეს ნახშირწყალბადები მიეკუთვნება რელიქტური ტიპის ნაერთებს.

C_{10} -ის იზომერებს შორის მნიშვნელოვნად სჭარბობს იზოპრენოიდული ნახშირწყალბადები:

2,6-დიმეთილპენტანი და 2-მეთილ-3-ეთილპენტანი:



აღსანიშნავია, რომ მათი შემცველობა C_{10} -ის ყველა ორჩანაცვლებულის ~75%-ია. არსებობს მოსაზრება, რომ 2-მეთილ-3-ეთილპენტანის და 2,3-დიმეთილალკანების მაღალი კონცენტრაცია წარმოიქმნა რელიქტური წინამორბედებიდან, კერძოდ სტერინებიდან ალიფატური ჯაჭვის მოხლეჩის გზით.

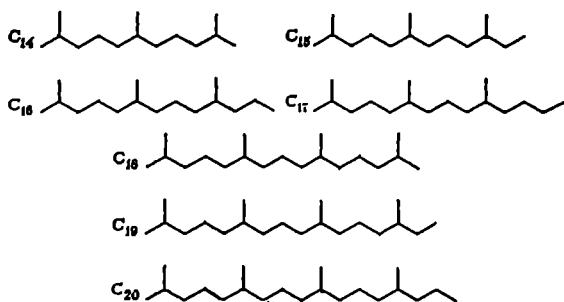
ნავთობში აღმოჩენილია იზოპრენოიდული ტიპის განტოტვილი ნახშირწყალბადები, ძირითადად C_9 - C_{20} შედგენილობით. შედარებით ფართოდ გავრცელებული იზოპრენოიდული ნახშირწყალბადი ნებისმიერ ნავთობში ფიტანი C_{20} - H_{42} და პრისტანია C_{19} - H_{40} (თითოეული 1,0-1,5%-მდე).

ნორმალური და იზოგებულების ალკანების ფარდობითი შემცველობა განსაზღვრავს ნავთობის ქიმიურ ტიპს. ნავთობის ქიმიური ტიპიზაციის საფუძვლად მიჩნეულია ნორმალური და იზოპრენოიდული ალკანების პროპორციული თანაფარდობა ფრაქციაში 200-430°C, რომელიც ნავთობის საშუალო შედგენილობის განმსაზღვრელი ფრაქციაა. იგი ხასიათდება ნორმალური

ალკანების მაღალი (15-60%-მდე) და იზოპრენოიდული ნახშირწყალბადების შემცირებული შემცველობით. მეთანურ ნავთობებს მიეკუთვნება გროზნოს პარაფინული, სურგუთის, სამოტ-ლორის და სხვა ნავთობები.

ალიფატურ იზოპრენოიდებს მიაკუთვნებენ ალიფატური პოლიიზოპრენოიდული ჩონჩხის მქონე პოლიტერაქენებს, რომლებიც მეთილჩამნაცვლებლებს ჯაჭვში შეიცავენ ყოველი სამი მეთილენური ჯგუფის შემდეგ. იზოპრენოიდები განიხილება, როგორც იზოპრენის პოლიმერიზაციის პროდუქტები. ნავთობის იზოპრენოიდებს მიაკუთვნებენ განტოტვილი აღნაგობის მქონე ალკანებს, რომლებიც ჰიდრირებული იზოპრენოიდების ანალოგებია.

ნავთობის იზოპრენოიდული C_{14} - C_{20} ნახშირწყალბადები:



ალიფატურ იზოპრენოიდებს მიაკუთვნებენ 2,6-დიმეთილალკანებს (C_5 - C_{13}), 3,7- დიმეთილალკანებს (C_{11} , C_{12} , C_{14}), 2,6,10-ტრიმეთილალკანებს (C_{19} - C_{20}). ნავთობში იზოპრენოიდული ნახშირწყალბადების შემცველობა 3-4%-ია, ზოგჯერ კი – უფრო მეტიც.

პარაფინულ-ნაფთენური ნავთობის განმსაზღვრელი ფრაქცია ხასიათდება ალკანების რამდენამდე შემცირებული რაოდენობით (25-30%), ციკლოალკანების მაღალი შემცველობით (60%). პარაფინულ ნავთობებს მიეკუთვნება სამხრეთ კასპიის, კასპიისპირა და სხვა ნავთობები.

ნაფთენური ნავთობების განმსაზღვრელი ფრაქცია ხასიათდება ციკლოალკანების მაღალი (60–75%) და ალკანების მცირე შემცველობით (5-30%). ნაფთენურ ნავთობებს მიეკუთვნება საქართველოს ზოგიერთი ნავთობები (თელეთის, მირზაანის), ჩრდილოეთ კავკასიის ნავთობები (ანასტასიევსკი-ტროიციის, ძეგლი გროზნის) და სხვ.

ნაფთენურ-არომატული ნავთობის განმსაზღვრელი ფრაქცია ხასიათდება როგორც ნაფთენური, ასევე ნაფთენურ-პარაფინული ნახშირწყალბადების მაღალი შემცველობით. ამ ტიპის ნავთობებში პრაქტიკულად არ არის ნორმალური და იზოპრენოიდული ალკანები და შედარებით მცირე რაოდენობითაა განტოტვილი ალკანები (4-დან 10%-მდე). ასეთ ნავთობებს წარმოადგენს

დასავლეთი ციმბირის (გრაიზევია - სოპკა, სუროზანული, ბალახანური, რუსული და სხვ.) ნავთობები.

ცნობილია, რომ ნორმალურ პირობებში ნ-ალკანები მეთანიდან პენტანამდე აირებია, C_5H_{12} -დან $C_{17}H_{36}$ -მდე - სითხეები, ხოლო $C_{17}H_{36}$ -დან დაწყებული - მყარები. მყარი ალკანები ყველა ნავთობშია, მაგრამ, ჩვეულებრივ, მცირე რაოდენობით - მეთადი ნაწილებიდან 5%-მდე (მას.), იშვიათ შემთხვევაში - 7-12%-მდე (მას.).

ნავთობში მყარი ნახშირწყალბადები წარმოადგენს მრავალკომპონენტურ ნარევეს, სადაც ალკანებთან ერთად გვხვდება არომატული და ნაფთენური ნახშირწყალბადები.

აქედან გამომდინარე, ალკანები სხვადასხვა პროპორციებით შედის ყველა ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შედგენლობაში. მათი ფიზიკური მდგომარეობა ნარევი განისაზღვრება მოლეკულური ხსნარით ან ლისპერსიული სისტემით, რომლებიც განსხვავდება კომპონენტების შედგენილობით, ინდივიდუალური ფიზიკური თვისებებით და თერმობარული პირობებით.

ნავთობურ სისტემებში ალკანები შეიძლება იყოს მოლეკულურ ან ასოცირებულ მდგომარეობებში. ნ-ალკანების სტრუქტურის კვლევამ თხევად მდგომარეობაში აჩვენა, რომ მათი ასოციაცია ხორციელდება მოლეკულის ზედაპირზე ლისპერსიული ურთიერთქმედების ძალებით, ხოლო ასოციატებს, მაგ., ნ-ჰექსანს, ნორმალურ პირობებში აქვს ლისკოს ან ფირფიტის ფორმა, ზომით $130-200 \text{ \AA}$. მოლეკულათა რიცხვი ასოციატებში მით მეტია, რაც უფრო დაბალია ტემპერატურა. ეს აიხსნება მოლეკულების თბური მოძრაობის შესუსტებით და მოლეკულათშორისი ურთიერთმოქმედების ენერგიის გაძლიერებით ალკანების ჯგუფის სიგრძის ზრდასთან ერთად.

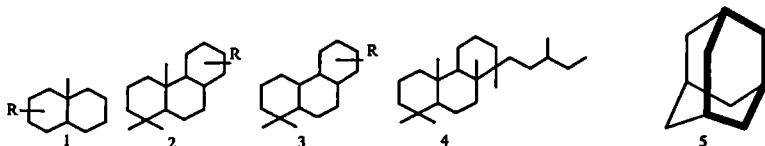
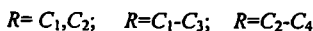
მრავალი ჭიმიური რეაგენტის მიმართ ალკანები ინერტულია, თუმცა არსებობს განსაზღვრული პირობები, რომლის დროსაც ისინი მონაწილეობენ სხვადასხვა ჭიმიურ რეაქციებში. სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს ალკანების შემდეგ რეაქციებს: აირ- და თხევადფაზურ ჟანგვას, კატალიზურ იზომერიზაციას, სულფირებას, სულფოდაჟანგვას და სხვ.

უმრავლეს ნავთობში ციკლოალკანების ჯამური შემცველობა სხვა რიგის ნახშირწყალბადების შემცველობას აღემატება. იგი მერყეობს 25-დან 75%-მდე (მას.) და გვხვდება ნავთობის ყველა ფრაქციაში. ჩვეულებრივ, მათი შემცველობა იზრდება მაღალ ფრაქციებში. გამონაკლისის წარმოადგენს მხოლოდ ზეთის ფრაქციები, რომლებშიც ციკლოალკანების შემცველობა მცირდება არომატული ნახშირწყალბადების რაოდენობის გაზრდის ხარჯზე. დაბალმდულარე ბენზინის ფრაქციები უპირატესად შეიცავს მონოციკლურ ნაფთენებს, კერძოდ, ციკლოპენტანისა და ციკლოჰექსანის წარმომადგენლებს [10-დან 86%-მდე (მას.)], ხოლო მაღალმდულარე ფრაქციები – პოლიციკლოალკანებს და იზოპრენიიდული აგებულების – ალკილნაცვლებულ მონოციკლოალკანებს.

პოლიციკლური (6-ზე ნაკლები ციკლის რიცხვით) ნაფთენებიდან ნავთობებში უპირატესად იდენტიფიცირებულია ინდივიდუალური ბიციკლური, ნაკლები რაოდენობით ტრიციკლური, ტეტრა- და პენტაციკლური ნაფთენები. თუ მოლეკულაში რამდენიმე ნაფთენური ციკლია, მაშინ, როგორც წესი, ისინი კონდესირებულია ერთიან პოლიციკლურ ბლოკში.

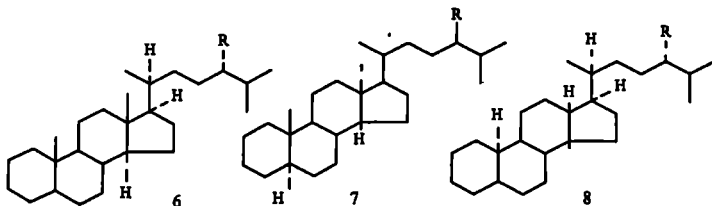
მკვეთრად გამოხატული ნაფთენური ტიპის ნავთობები უპირატესად შეიცავს C_7-C_9 ბიციკლებს. ამ ნახშირწყალბადებთან ერთად აღმოჩენილია: ბიციკლო [3,3,0] ოქტანი, ბიციკლო [3,2,1] ოქტანი, ბიციკლო [2,2,2] ოქტანი, ბიციკლო [4,3,0] ნონანი (პიდრინდანი), ბიციკლო [2,2,1] ჰექსანი (ნორობრანი) და მათი უახლოესი ჰომოლოგები.

ტრიციკლებიდან ნავთობებში დომინირებს ალკილპერიფერიფენანტრენები, რომელთა შორის იდენტიფიცირებულია (1-4) ტიპის ნაერთები:

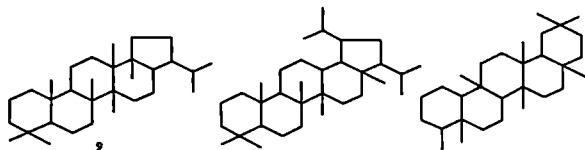


ზოგიერთი ნავთობიდან გამოყოფილია სამციკლიანი ანგულარული ადამანტანიც (5).

ტეტრა-ციკლები ნავთობში უმთავრესად წარმოდგენილია ციკლოპენტანოპერიფერიფენანტრენის წარმომადგენლებით – სტერანებით $C_{27}H_{30}$ (6, 7, 8):



ნავთობის პენტაციკლებს მიეკუთვნება გოპანის (9), ლუპანის (10), ფრიდელანის (11) და სხვა რიგის ნახშირწყალბადები:



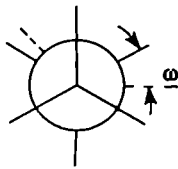
სტრუქტურულ-ჯგუფური და მას-სპექტრომეტრული ანალიზის საფუძველზე გამოთქმულია მოსაზრება ნავთობში ხუთზე მეტი ციკლის მქონე ნაფთენების არსებობის შესახებ. მაღალმდულარე ნაფთენები მოლეკულებში შეიცავს 7-8 ციკლს.

ციკლოალკანები ციკლის ზომის მიხედვით იყოფა მცირე (C_3, C_4), ნორმალურ (C_5-C_7), საშუალო (C_8-C_{11}) და მაკროციკლებად (C_{12} და უფრო მეტი). ციკლოალკანებისათვის, განსაკუთრებით მათი წარმოებულებისათვის დამახასიათებელია გადაჯგუფება ციკლის ზომის ცვლილებით. მაგ., ალუმინის ქლორიდის თანაობისას მეთილციკლოპენტანის გაცხელებით წარმოიქმნება ციკლოპექსანი, ხოლო ციკლოპექსანი 80^0-90^0C -ზე გარდაიქმნება მეთილციკლოპენტანში. ხუთი და ექვსნახშირბადიანი ციკლები წარმოიქმნება უფრო ადვილად, ვიდრე ციკლები ნაკლები და მეტი ნახშირბადატომებით. ამიტომ ნავთობებში უფრო დიდი რაოდენობით გვხვდება ციკლოპექსანისა და ციკლოპენტანის წარმოებულები.

ამის მიზეზია ის, რომ ნაჯერი ვალენტობის ნახშირბადის ატომებს შორის Sp^3 ჰიბრიდიზაციის დროს კუთხე $109^028'$ -ია. ბაიერის თეორიის თანახმად, ციკლოალკანებში ადგილი აქვს ნახშირბადის ვალენტობის გადახრას ნორმალური ორიენტაციიდან, რაც იწვევს ციკლში დაძაბულობის წარმოქმნას და მოლეკულაში ენერგიის გაზრდას. ციკლოპროპანში ყოველი ვალენტობა ნორმალური ორიენტაციიდან გადახრილია $24^033'$ -ით, ოთხწევრიანში – $9^044'$ -ით, ციკლოპენტანში – $0^044'$ -ით, ხოლო ციკლოპექსანში – 5^0 -ით, ციკლოპექსანი არ წარმოადგენს ბრტყელ მოლეკულას და მასში დაძაბულობა არ არის.

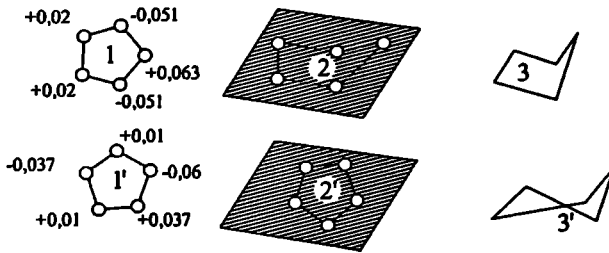
ციკლების მდგრადობა კარგად ჩანს მათი წვის სითბოდანაც. მაღალი მდგრადობის მქონე ციკლოპექსანის წვის სითბო 659,03 კჯ/მოლის ტოლია, რაც თითქმის ემთხვევა ალიფატური ნახშირწყალბადების CH_2 ჯგუფის წვის სითბოს. ციკლოპენტანი ნაკლებად მდგრადია, ვიდრე ციკლოპექსანი.

რიგ შემთხვევაში ციკლოალკანებს, ბაიერის კუთხის დაძაბულობის გარდა, ახასიათებს ჩამოფარების (ტორსული ანუ პიტცეროვსკის) დაძაბულობა, რაც განპირობებულია იძულებითი გადახრით უფრო ხელსაყრელი კენტი კონფორმაციიდან (ნახ.1.1)



ნახ. 1.1

პიტცეროვსკის დამატულობა ძლიერ მცირდება ციკლოპენტანის არაბრტყელ მოლეკულაში. ციკლოპენტანი არსებობს ორი კონფორმაციის: „კონვერტის“ და „ნახევრადსაყარძლის“ სახით. პროექციებში (ნახ. 1.2) 1 და 1' მიუთითებს ნახშირბადატომების რგოლის შუა სიბრტყიდან გამოსვლის სიდიდეზე (ნმ-ობით); 2, 2' და 3, 3' – პროექციებს ამ სიბრტყეზე.



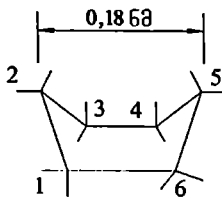
ნახ. 1.2 ციკლოპენტანის კონფორმაციები სამ პროექციაში

ციკლოპენტანის მოლეკულა ჩვეულებრივი (ოთახის) ტემპერატურის პირობებში პრაქტიკულად მხოლოდ საყარძლის ფორმაში არსებობს. ИК-სპექტროსკოპიის და რიგი სხვა მეთოდებით დადგინდა, რომ ერთნაირებულ ციკლოპენტანის წარმოებულებს პრაქტიკულად აქვს მხოლოდ ეკვატორული კონფორმაცია $c(C-H)$ ბმა ორიენტირებული რგოლის სიბრტყის ახლოს), ხოლო აქსიალური $a(C-H)$ ბმა ორიენტირებული რგოლის ღერძის პარალელურად არ არსებობს.

ციკლოპენტანის რიგის ნახშირწყალბადებში სტერეოიზომერების მდგრადობის განმსაზღვრელს წარმოადგენს რგოლში აქსიალურად ორიენტირებული ჩამნაცვლებლების რაოდენობა, კერძოდ, მისი რაოდენობის გაზრდა იწვევს სტერეოიზომერების მდგრადობის შემცირებას.

პოტენციალური ბარიერი ციკლოპენტანის საყარძლის და აბაზანის ფორმებს შორის 42-46 კჯ/მოლის ტოლია. აბაზანის ფორმა არახელსაყრელია ციკლოპენტანისათვის, რადგან აბაზანის წვეროებში არსებული წყალბადატომების წვეილი განზიდვა-განცალკევებას განიცდის.

თუმცა, აბაზანის ფორმას – კონფორმაციას ახასიათებს მოქნილობა, ძვრადობა და შეუძლია მიიღოს დამაზინჯებელი აბაზანის კონფორმაცია (ტვისტ-ფორმა), რომელიც რამდენამდე უფრო ხელსაყრელია.



საშუალო ციკლებს (8-12 ბირთვით) არ ახასიათებს არც კუთხის (ბაიერის) და არც ჩამოფარების (პიტცეროესკის) დაძაბულობები. ასეთი ციკლების ამაღლებული ენერგიის მიზეზია „შეგამოლცეულური სიმჭიდროვე“, რომლის დროსაც დაუკავშირებელი ატომები, ვანდერ-ვაალსური რადიუსების ჯამთან შედარებით, უფრო მოკლე მანძილებზე ლაგდება.

ციკლოპროპანი და ციკლობუტანი ნავთობებში აღმოჩენილი არ არის, თუმცა ნორმალურ პირობებში ისინი აიროვან მდგომარეობაში იმყოფებიან. იმავე პირობებში C_5 -დან C_{11} -მდე წარმოადგენენ სითხეებს, ხოლო უფრო მაღალი პომოლოგები – მყარ ნივთიერებებს. ციკლოალკანები, იგივე ნახშირბადატომის რიცხვის მქონე ნ-ალკანებისაგან განსხვავებით, იმყოფება ასოცირებულ მდგომარეობაში უფრო მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

ციკლოალკანებს აქვს ალკანებისათვის დამახასიათებელი ბევრი თვისება, მაგ., ციკლოალკანი მონაწილეობს კატალიზურ დეჰიდრირებაში, ჟანგვასა და ნიტრირებაში ისე, რომ არ იცვლება მისი ჩონჩხი და არ წყდება $C-C$ ბმა. ნავთობის ციკლოალკანებზე თერმული ზემოქმედებისას მიმდინარეობს რეაქციები $C-C$ ბმის გაწყვეტით არა მარტო გვერდით ჯაჭვებში, არამედ ციკლშიც. ასეთი რეაქციებია დეჰიდროგენიზაცია და არომატიზაცია.

ნავთობში არომატული ნახშირწყალბადების შემცველობა 15-დან 50%-მდე (მას.) მერყეობს. განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით არენებს (37%) შეიცავს ნაფთენური ნავთობი, შედარებით ნაკლები რაოდენობით (20%) – პარაფინული ნავთობი. ნავთობური არენები ძირითადად წარმოდგენილია არა უმეტეს სამხირთიანი მოლეკულებით. როგორც წესი, 500°C-მდე მდლარე დისტილატებში არენების კონცენტრაცია მცირდება ერთი-ორი ბირთვით ნაერთთა შემდეგ რიგში: ბენზოლები >> ნაფთალინები >> ფენანტრენები >> ქრიზენები >> პირენები >> ანთრაცენები. მაგ., სხვადასხვა ტიპის ნავთობისათვის დამახასიათებელია არენების საშუალო შემცველობა %-ობით არენების საერთო რაოდენობიდან: ბენზოლური – 67, ნაფთალინური – 18, ფენანტრენული – 8, ქრიზენული და ბენზოფლორენული – 3, პირენული – 2, ანთრაცენური – 1, სხვა არენები – 1.

ცნობილია კანონზომიერება, რომლის თანახმადაც არენების შემცველობა იზრდება ღუდლის ტემპერატურის გადიდებით. ბენზინების ფრაქციებში აღმოჩენილია არენების C₆-C₉ თორიულად ყველა შესაძლო ჰომოლოგი. ნახშირწყალბადები ბენზოლს ბირთვის მცირე რიცხვით დომინირებს აგრეთვე ყველაზე მძიმე ნავთობური ფრაქციების არენებს შორისაც. ასე, მაგალითად, მონაცემების თანახმად, მონო-, ბი-, ტრი-, ტეტრა-, პენტაარენები სხვადასხვა ნავთობების დისტილატების 370-535°C არომატული ნახშირწყალბადების მასის 45-48; 24-29; 15-31; 1,5-ს და 0,1%-ს შეადგენს, შესაბამისად.

ნავთობური მონოარენები წარმოდგენილია ალკილბენზოლებით და ნაფთენურ-არომატული ნახშირწყალბადებით, რომლებიც მოლეკულაში 7-8-მდე ნაჯერ ციკლებს შეიცავენ.

ნავთობურ ღიაარენებს შორის მთავარი ადგილი უკავია α - და β -ნაფთალინების წარმოებულებს, რომლებიც ღიაარენების ~95%-ს შეადგენს და მოლეკულაში 8-მდე ნაჯერ ბირთვებს შეიცავს; მეორეხარისხოვანი ნაერთებია დიფენილისა და დიფენილალკანების წარმოებულები. ნავთობებში აღმოჩენილია ყველა ინდივიდუალური ალკილნაფთალინები C₁₁, C₁₂ და C₁₃-C₁₅-ის ბევრი იზომერი. დიფენილების შემცველობა ნავთობში ერთი რიგით უფრო დაბალია, ნაფთალინების შემცველობასთან შედარებით.

ნავთობში ნაფთენდიაარენებიდან აღმოჩენილია აცენაფთენი, ფლუორენი და მისი ჰომოლოგების რიგი მეთილჩამნაცვლებლებით 1-4 მდგომარეობებში.

ტრიაარენები ნავთობში წარმოდგენილია ფენანტრენებისა და ანთრაცენების (ფენანტრენის დიდი უპირატესობით) სახით.

ნავთობური ტეტრაარენები მოიცავს ქრიზენის, პირენის, 2,3- და 3,4-ბენზოფენანტრენისა და ტრიფენილენის ნახშირწყალბადების რიგებს.

ხუთი და მეტი კონდენსირებული ბენზოლური ციკლების მქონე პოლიარენების შემცველობა ნათობში ძალიან მცირეა.

მონოციკლური არენები, გარდა ერთი ბენზოლის ბირთვისა, შეიძლება შეიცავდეს ხუთამდე ნაფთენურ ციკლს, რომელიც ელუირდება ნახშირბადატომების რიცხვით 21-დან 39-მდე გვერდით ალკილურ ჯაჭვში.

ბიციკლური ნახშირწყალბადები ორი ბენზოლური და სამამდე ნაფთენური რგოლებით გვხვდება გვერდით ჯაჭვებში ნახშირბადატომების რიცხვით 22-40.

საშუალო და მძიმე არომატული ფრაქციების შედგენლობაში შედის არენები უფრო მოკლე გვერდითი ჯაჭვებით – მონოციკლური და ბიციკლური არენები გვერდით ჯაჭვებში 10-20 ნახშირბადატომების რიცხვით; ტრიციკლური არენები გვერდით ჯაჭვებში 16-30 ნახშირბადატომების რიცხვით გვხვდება არენების საშუალო ფრაქციის შედგენილობაში.

უფრო მოკლე გვერდითი ჯაჭვების მქონე არენები ელუირდება არენების მძიმე ფრაქციის შედგენილობაში, რაც იმით აიხსნება, რომ ზოგიერთ პოლარულ ნაერთებთან არენები საკმაოდ მდგრად მოლეკულურ კომპლექსებს წარმოქმნის.

არენებს ნაკლებად ახასიათებს მიერთების რეაქციები, ვიდრე ალკენებს და ციკლოალკენებს. საკმაოდ მაკარ პირობებში მიმდინარეობს ბენზოლის ჰიდრირების, ქლორირების და ბრომირების რეაქციები.

პოლიარენებში, ბენზოლისაგან განსხვავებით, C-C ბმები არათანაბარია და მიერთების რეაქციები უფრო ადვილად მიმდინარეობს მაღალი ელექტრონული სიმკვრივის მქონე ბმებთან. მაგალითად, ნაფთალინის მოლეკულაში ბმებს 1-2, 3-4, 5-6 და 7-8, 2-3 და 6-7 ბმებთან შედარებით, გააჩნია მაღალი ენერგეტიკული სიმკვრივე და ნაკლები სიგრძე. მიერთების რეაქციების შერჩევითი ხასიათი ამ შემთხვევებში დაკავშირებულია იმასთან, რომ არაკონდენსირებულ არომატული ციკლებით წარმოსაქმნელ ნაერთებს უფრო მაღალი შეუღლების ენერგია ახასიათებს, ვიდრე საწყის პოლიარენებს.

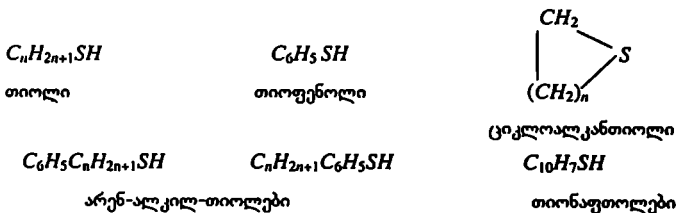
1.3. პეტეროორგანული ნაერთები

ნათობის დისტილატებსა და ნარჩენ ფრაქციებში სხვადასხვა პროპორციით გვხვდება განსხვავებული აღნაგობისა და მოლეკულური მასების მქონე პეტეროორგანული (გოგირდ-, ჟანგბად- და აზოტშემცველი) ნაერთები. მაღალმოლეკულური პეტეროორგანული ნაერთების ძირითადი ნაწილი წარმოდგენილია ფისოვან-ასფალტენური ნივთიერებებით (ფან).

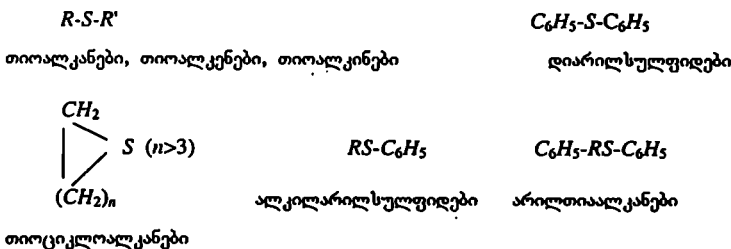
პეტეროატომიანი კომპონენტებიდან გოგირდშემცველი ნაერთები ყველაზე ფართოდ წარმოდგენილია აირკონდენსატებსა და ნავთობურ სისტემებში. აირნავთობურ სისტემებში გოგირდის საერთო შემცველობა მერყეობს პროცენტის მეასედი ნაწილიდან 6-8%-მდე (მას.) და უფრო მეტ მნიშვნელობამდე.

აირნავთობურ სისტემებში ელემენტური გოგირდი და გოგირდწყალბადი უმნიშვნელო რაოდენობითაა არაორგანული გოგირდშემცველი ნაერთების სახით. ისინი ამავე დროს შეიძლება წარმოიქმნან როგორც მეორეული პროდუქტები სხვა გოგირდშემცველი ნაერთების დაშლის შედეგად მაღალი ტემპერატურის პირობებში ნავთობის გამოხდის ან დესტრუქციული გადაშენების პროცესების დროს. ნავთობში გვხვდება შემდეგი გოგირდშემცველი ნაერთები.

1. ალიფატური, ალიციკლური და არომატული თიოლები (მერკაპტანები) R-SH:



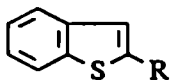
2. თიოეტერები (სულფიდები):



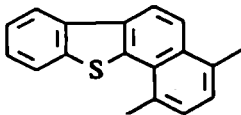
(R, R'—ნაჯერი და უჯერი ალიფატური ნახშირწყალბადოვანი ჩამნაცვლებლებია).

3. დიალკილდისულფიდები R-S-S-R', სადაც R, R'—ალკილური, ციკლოალკილური ან არილური ჩამნაცვლებლებია.

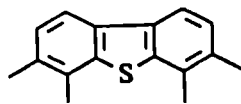
4. თიოფენები და მათი წარმოებულები, რომელთა შორის უმნიშვნელოვანესია არენთიოფენები:



ალკილბენზოთიოფენები



ალკილბენზონაფთო-
თიოფენები



ალკილბენზო-
თიოფენები

ნავთობში და ნავთობურ ფრაქციებში სხვადასხვა ჯგუფების გოგირდშემცველი ნაერთების განაწილება გარკვეულ კანონზომიერებებს ემორჩილება.

თიოლეს პრაქტიკულად შეიცავს ყველა ნელლი ნავთობი მცირე კონცენტრაციით 2-10% (მას.) გოგირდშემცველი ნაერთების საერთო რაოდენობიდან. აირკონდესატებში ძირითადად გვხვდება ალიფატური მერკაპტანები C_1-C_3 .

თიოეთერები ჯამური გოგირდშემცველი ნაერთების 27%-მდე (მას.) გვხვდება ნელ ნავთობში და 50% (მას.) – შუალედურ ფრაქციებში. მძიმე ვაკუუმურ გაზოილებში სულფიდების შემცველობა ნაკლებია.

დიალკილდისულფიდები ნელ ნავთობებში აღმოჩენილი არ არის. ისინი, ჩვეულებრივ, წარმოიქმნიან მერკაპტანების რბილ პირობებში დაჟანგვისას და, ამდენად, გვხვდებიან ბენზინებში (15%-მდე).

ნავთობების გოგირდშემცველი ნაერთების ძირითად ნაწილს წარმოადგენს ე.წ. „ნარჩენი“ გოგირდი, რომელიც სტანდარტული მეთოდებით განისაზღვრება. მის შედგენილობაში სჭარბობს თიოფენები და მათი წარმოებულები. ბენზინის ფრაქციაში თიოფენების წარმოებულების შემცველობა მცირეა, შუალედურ და განსაკუთრებით მაღალმდულარე ფრაქციებში მისი შემცველობა გოგირდშემცველი ნაერთების 50-80%-ს აღწევს.

გოგირდშემცველი ნაერთების ქიმიური აქტივობის შედარებისას დადგინდა, რომ დაჟანგვის რეაქციებში მერკაპტანები ადვილად იჟანგება ჰაერის ჟანგბადით ოთახის ტემპერატურაზე დისულფიდებამდე, სულფიდები კი – მაღალი ტემპერატურისას ღრმა დაჟანგვის პროდუქტების სულფოქსიდების, სულფონების წარმოქმნით, ხოლო თიოფენები დაჟანგვისას ძალიან მდგრადია, ბუნებრივი გოგირდშემცველი პეტროციკლური ნაერთები ამჟღავნებს ანტიდაჟანგველობით თვისებებს, ნავთობური სისტემების ნახშირწყალბადებისაგან განსხვავებით.

ნავთობურ სისტემებში ჯანგბადის შემცველობა 0,1-1,0-დან 3,6%-მდე (მას.) მერყეობს. ჯანგბადის შემცველობა იზრდება დისტილატური ფრაქციების დუღილის ტემპერატურის გადიდებასთან ერთად. ჯანგბადის ძირითადი რაოდენობა თავმოყრილია ფისოვან-ასფალტენურ ნივთიერებებში. ნავთობები და დისტილატები შეიცავს 20%-მდე და უფრო მეტი რაოდენობით ჯანგბად-შემცველ ნივთიერებებს.

მათ შორის ტრადიციულად გამოყოფენ მჟავე და ნეიტრალური ხასიათის ნივთიერებებს. მჟავე კომპონენტებს მიეკუთვნება კარბონმჟავები და ფენოლები. ნეიტრალური ჯანგბადშემცველი ნაერთები წარმოდგენილია კეტონებით, მჟავა ანჰიდრიდებით და ამიდებით, რთული ეთერებით, ფურანის წარმოებულებით, სპირტებით და ლაქტონებით.

ნავთობის ჯანგბადშემცველი ნაერთებიდან ყველაზე ფართოდ შესწავლილი კლასია კარბონმჟავები. ნავთობური მჟავების შემცველობა იცვლება ფრაქციების მიხედვით. მათი მაქსიმალური შემცველობით ხასიათდება მსუბუქი და საშუალო ზეთის ფრაქციები. უმრავლესობა ერთფუძიანი მჟავებია – $RCOOH$, სადაც R შეიძლება იყოს ნებისმიერი ნახშირწყალბადოვანი და პეტერორგანული ფრაგმენტი. დადგენილია, რომ მჟავების და ნავთობების ჯგუფური შედგენილობები შეესაბამება ერთმანეთს: მეთანურ ნავთობებში სჭარბობს ალიფატური მჟავები, ნაფთენურში – ნაფთენური და ნაფთენურ-არომატული მჟავები. აღმოჩენილია C_{11} -დან C_{25} -მდე ზაზოვანი და ზოგიერთი განტოტეილი აღნაგობის მქონე ალიფატური მჟავები, რომელთა თანაფარდობა შესაბამისი ნახშირწყალბადების თანაფარდობას ემთხვევა.

ალიფატური მჟავები ნავთობში წარმოდგენილია ძირითადად ნ-ალკანური მჟავებით. განტოტეილი მჟავებიდან უფრო მეტად გავრცელებულია მეთილ-ჯგუფის შემცველი მჟავები.

აციკლური (ნაფთენური) მჟავებიდან ნავთობში გვხვდება მონო- და პოლიციკლოკარბონმჟავები. მონოციკლოკარბონმჟავები წარმოდგენილია ციკლოპენტანისა და ციკლოჰექსანის წარმოებულების სახით, სადაც $COOH$ -ის ჯგუფი მიერთებულია უშუალოდ ციკლთან ან იმყოფება ალიფატური ჩაშნაცვლებლის ბოლოში.

პოლიციკლოკარბონმჟავებში ციკლების რიცხვი არ აღემატება 5-ს. ბიციკლური ნაფთენური მჟავების შემცველობა მეტ-ნაკლებად უტოლდება მონოციკლური ნაფთენური მჟავების შემცველობას.

ტრი-, ტეტრა- და პენტაციკლოკარბონმჟავები აგებულია ძირითადად ერთმანეთთან კონდენსირებული ციკლოჰექსანური ბირთვებით.

არომატული მჟავები ნავთობში წარმოდგენილია ბენზომჟავათი და მისი წარმოებულებით.

ჟანგბადშემცველი ნერთებიდან ნავთობური მჟავები საკმაოდ მაღალი ზედაპირული აქტივობით ხასიათდება. ისინი მონაწილეობენ ნავთობის ასოციატების წარმოქმნაში.

მჟავებთან შედარებით, ნაკლებად შესწავლილია ფენოლები. ნავთობებში აღმოჩენილია ფენოლი, კრეზოლები, ქსილენოლები და C_9 -ის ცალკეული იზომერები. დადგენილია თანაფარდობა ფენოლებისა და ალკილფენოლების შორის; იგი მერყეობს 1 (0,3-0,4)-დან 1 (350-560)-მდე და დამოკიდებულია ნავთობის ასაკსა და განლაგების სიღრმეზე. კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ ფენოლური ნერთები აქტიური ბუნებრივი ინჰიბიტორებია.

ნეიტრალური ჟანგბადშემცველი ნერთებიდან ნავთობში გვხვდება ყველა უმარტივესი ალკილკეტონი C_3-C_6 , აცეტფენოლები და მისი ნაფთენ- და არენწარმოებულები, ფლუორენონი და მისი უახლოესი ჰომოლოგები.

ნავთობში შეიძლება დაეუშუათ სპირტების არსებობა თავისუფალ მდგომარეობაში; ბმული სახით სპირტები შედის რთული ეთერების შედგენილობაში.

ნავთობის ჟანგბადშემცველი ნერთები ამჟღავნებს ინტენსიურ მოლეკულათაშორის ურთიერთქმედებებს.

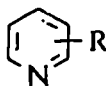
აზოტშემცველი ნერთები

ნავთობში აზოტის შემცველობა 0,02-დან 0,4%-მდე (მას.) მერყეობს, თუმცა ზოგიერთ შემთხვევაში 0,8-დან 1,5-მდე და 10-12%-მდეც აღწევს.

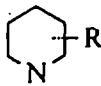
აზოტშემცველი ნერთები ნავთობში გვხვდება არენების ფუნქციური წარმოებულების სახით. არენებისაგან განსხვავებით, აზოტშემცველი ნერთები კონცენტრირებულია ნავთობის მაღალმდუღარე ფრაქციებში და ისინი ფისოვან-ასფალტენური ნერთებია.

ნავთობური სისტემების კომპონენტებს შორის აზოტშემცველი ნერთები ერთადერთი ფუძე თვისების მატარებელი ნერთებია. აზოტშემცველი ნერთები იყოფა ძლიერ- და სუსტფუძიანებად.

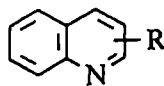
ძლიერფუძიანი აზოტშემცველი ნერთებია პირიდინები და მათი წარმოებულები:



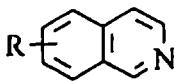
პირიდინები



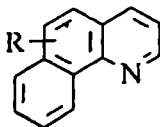
პიპერიდინები



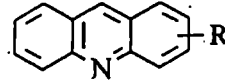
ქინოლინები



იზოქინოლინები



ბენზოქინოლინები



აკრიდინები

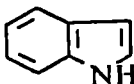
სუსტფუზიან აზოტშემცველ ნაერთებს მიეკუთვნება ანილინები, ამიდები, იმიდები და *N*-ციკლოალკილწარმოებულიები, სადაც პიროლის ბირთვში ჩანაცვლებულია ალკილ, ციკლოალკილ და ფენილის ჯგუფები:



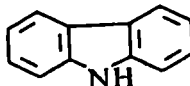
პიროლები

ნედლ ნათობსა და მის პირდაპირ ნახად დისტილატებში უფრო ხშირად აღმოჩენილია პირიდინის წარმოებულები. ფრაქციის დუღილის ტემპერატურის გადიდებით იზრდება აზოტშემცველი ნაერთების შემცველობა: მსუბუქ და შუალედურ ფრაქციებში სჭარბობს პირიდინები, უფრო მძიმე ფრაქციებში მათი პოლიარომატული წარმოებულები, ხოლო თერბული დამუშავების პროდუქტებში-ანილინები. ნათელ ფრაქციებში დომინირებს აზოტოვანი ფუძეები, მძიმე ფრაქციებში – ნეიტრალური აზოტშემცველი ნაერთები.

ნათობის ნეიტრალურ აზოტშემცველ ნაერთებს წარმოადგენს ინდოლები, კარბაზოლები და მათი ნაფთენური და გოგირდშემცველი წარმოებულები:

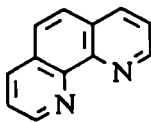


ინდოლები (ბენზპიროლები)

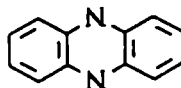


კარბაზოლები

ნათობებში გვხვდება სხვა აზოტშემცველი ნაერთებიც. მაგალითად: 1) პოლიარომატული ნაერთები აზოტის ორი ატომით მოლეკულაში:

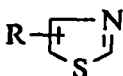


1,10 – ფენანტროლინი

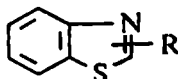


ფენაზინი

2) ორი სხვადასხვა პეტეროატომით (აზოტი და გოგირდი) ერთსა და იმავე ციკლში:



თიაზოლები

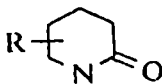


ბენზოაზოლები

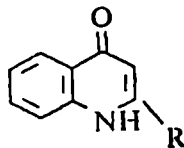
და მათი ალკილ- და ნაფთენური ჰომოლოგები.

3) ორი პეტეროატომით (აზოტი და გოგირდი) სხვადასხვა ციკლებში: თიოფენშემცველი ალკილ-, ციკლოალკილინდოლები და კარბაზოლები.

4) აზოტშემცველ პეტეროციკლში კარბონილური ჯგუფით, მაგ., ბიპერიდინები და ქინოლინები:



ბიპერიდინები



ქინოლინები

5) პორფირინები (იხ. 1.5).

ნავთობის აზოტშემცველ ნაერთებს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. აზოტშემცველი ნაერთები და მათი წარმოებულები – პირიდინები, პიდროქსიპირიდინები, ქინოლინები, პიდროქსიქინოლინები, იმიდაზოლინები, ოქსაზოლინები და ა.შ. წარმოადგენენ ნავთობში გახსნილ ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს; ხასიათდებიან ინჰიბიტორული თვისებებით ნავთობის ამოღების, ტრანსპორტირებისა და მისი გადამუშავების პროცესში, ზღუდავენ რა ლითონთა კოროზიას. უფრო სუსტ, ზედაპირულად აქტიური თვისებებით ხასიათდება ნავთობის აზოტშემცველი ნაერთების – პიროლის, ინდოლის, კარბაზოლის, თიაზოლების და ამიდების პომოლოგები.

1.4. ფისოვან-ასფალტენური ნაერთები (ფან)

ფისოვან-ასფალტენური ნაერთები ნავთობის მაღალმოლეკულური პეტეროორგანული კომპონენტებია. მათთვის დამახასიათებელია მაღალი მოლეკულური მასები, მოლეკულებში სხვადასხვა პეტეროატომების არსებობა, პოლარულობა, პარამაგნეტიზმი, მაღალი მიდრეკილება მოლეკულათშორისი ურთიერთქმედებისა და ასოციაციისადმი, პოლიდისპერსიულობა და მკვეთრად გამოხატული კოლოიდურ-დისპერსიული თვისებები.

ზოგიერთი ნავთობის ფისოვან-ასფალტენურ ნაერთებს ახასიათებს განსხვავებული ელემენტური შედგენილობა და თვისებები: საშუალო მოლეკულური მასა, სიმკვრივე და ა.შ. ფისებში და ასფალტენებში თავმოყრილია ნავთობში არსებული პეტეროატომების უდიდესი რაოდენობა და პრაქტიკულად ყველა ლითონი.

ფისოვან-ასფალტენური ნაერთებში აზოტი უპირატესად წარმოდგენილია პირიდინული (ფუჟე), პიროლური (ნეიტრალური) და პორფირინული (ლითონ-კომპლექსური) პეტეროარომატული ფრაგმენტების სახით; გოგირდი – პეტეროციკლების (თიოფენური, თიაციკლანური, თიაზოლური), თიოლური ჯგუფების და სულფიდური ზიდაკებით შეკერილი მოლეკულების სახით;

ჟანგბადი ფისებსა და ასფალტენებში – პიდროქსილის (ფენოლური, სპირტული), კარბონილური (კეტონური, ქინონური) ჯგუფებისა და ფურანული ციკლების სახით.

ასფალტენების მოლეკულურ მასებსა და პეტეროატომების შემცველობას შორის გარკვეული შესაბამისობა არსებობს.

ფისოვან-ასფალტენური ნაერთების ქიმიური აქტიუობის კვლევამ დაადგინა მათი ინჰიბირების უნარი ნახშირწყალბადების ჟანგვით რეაქციებში, რაც განპირობებულია პეტეროატომებისა და მოძრავი წყალბადის ატომის არსებობით ფუნქციურ ჯგუფებში. ფისოვან-ასფალტენური ნაერთებიდან სხვადასხვა ქიმიური გარდაქმნების შედეგად მიღებულია იონიტები და ადსორბენტები. ფისოვან-ასფალტენური ნაერთები ხშირად გამოიყენება, როგორც დანამატი ნავთობურ-ლისპერსიულ სისტემებზე (ნდს) ნავთობის გადამუშავების სხვადასხვა პროცესების მიმდინარეობისას, ასევე – ნავთობის ტრანსპორტირებისას, როგორც ბუნებრივი დეპრესანტები.

თანამედროვე კლასიფიკაციის თანახმად, ნავთობს მიეკუთვნება ბუნებრივი ნახშირწყალბადოვანი საფუძელის მქონე საბადო, თუ იგი შეიცავს 35-40%-მდე (მას.) ფისოვან-ასფალტენური ნაერთებს, ხოლო 60-75%-მდე (მას.) ფისოვან-ასფალტენური ნაერთების შემცველობის საბადო წარმოადგენს ასფალტებს და ბიტუმებს.

ფისოვან-ასფალტენური ნაერთების კლასში გაერთიანებულია ნაერთები, რომელთაც აქვს კონკრეტულ გამხსნელებში ხსნადობის ახლო მნიშვნელობები. ნავთობზე და ნავთობურ ნარჩენებზე დიდი რაოდენობით პეტროლეინის ეთერის მოქმედებისას ზდება ასფალტენების და სხვა კომპონენტების გამოლექვა (იხსნებიან დაბალ არენებში).

ნავთობური ფისოვან-ასფალტენური ნაერთების აღნაგობისა და ბუნების დადგენა ორ ეტაპად ხორციელდება. ეტაპებს აერთიანებს საერთო აზრი – ფისოვან-ასფალტენური ნაერთის კოლოიდურ-ლისპერსიული აგებულება.

პირველ ეტაპზე შეისწავლება ფისოვან-ასფალტენური ნაერთის ქიმიური აგებულება უცნობი ნაერთის იდენტიფიკაციისათვის გამოყენებული სტანდარტული ქიმიური მეთოდით.

ფისებისა და ასფალტენების მოლეკულური მასების, ელემენტური შედგენილობისა და ბრუტო-ფორმულების დადგენის შემდეგ ცნობილი გახდა, რომ ასფალტენები, ფისებისაგან განსხვავებით, შეიცავს ნახშირბადატომების და ლითონების დიდ და წყალბადატომების მცირე რაოდენობებს; მნიშვნელოვანი ზომების პოლიარომატულ ბირთვებს; აგრეთვე საშუალოზე ნაკლები სიგრძის მქონე ალიფატურ ჩანაცვლებებს და მცირე რიცხვის ციკლურ ფრაგმენტებს, რომლებიც კონდენსირებულია არომატულ ბირთვებთან.

მეორე ეტაპზე ასფალტენების აგებულება შეისწავლება ფიზიკური თვალსაზრისით და იმ მიზეზების ანალიზით, რითაც გაპირობებულია ასფალტენების მიღრეკილება ასოციაციისადმი.

ორმაგი ელექტრონულ-ბირთვული რეზონანსის მეთოდით დადგინდა, რომ ნელ ნავთობში, ბუნებრივ პირობებში, ასფალტენების ძირითად ნაწილს აქვს კონდენსირებული არომატული ბირთვი, რადიუსით 1 ნმ.

რენტგენოსტრუქტურული ანალიზიდან ჩანს, რომ პირველადი წარმოშობის ასფალტენებს ბუნებრივ პირობებში აქვს უმნიშვნელოდ გამოხატული კრისტალური აგებულება და მათში სჭარბობს ამორფული არეები. დესტრუქციული წარმოშობის ნედლეულიდან მიღებული ასფალტენები კი უფრო მეტად კრისტალური ნაერთებია.

ორიგინალური თვალსაზრისით, ნავთობისა და ნავთობური სისტემების ფისოვან-ასფალტენური ნაერთები თერმოდგრადი ლაბილური პარამაგნიტური ასოცირებული ხსნარებია. ასეთი ხსნარების ასოციატების ბირთვი წარმოქმნილია ასფალტენებით, რომლებშიც ლოკალიზებულია სტაბილური თავისუფალი რადიკალები, ხოლო ბირთვის გარემომცველი სოლვატური შრეები ფისების დიამაგნიტური მოლეკულებისაგან შედგება. ნავთობური ხსნარების განზავება და გაცხელება ცვლის მათში პარამაგნიტური ცენტრების კონცენტრაციას, მათ აღნავობას და ასოცირების კომბინაციათა რაოდენობას.

ფისოვან-ასფალტენური ნაერთებისათვის შემოთავაზებულია როგორც ჯგუფური, ასევე ცენტრალურ-სიმეტრიული აღნაგობის მოდელები. უკანასკნელის თანახმად, ნაერთის სტრუქტურული ერთეულის ბირთვი წარმოქმნილია მაღალმოლეკულური პოლიციკლური ნახშირწყალბადებისაგან და შემოსაზღვრულია არომატულობის ხარისხის თანდათანობით კლებადი კომპონენტებით. პიპოთენის თანახმად, ასფალტენის ნაწილაკის ბირთვისა და სოლვატური შრის სისქის ზომები დამოკიდებულია გარეგანი ფაქტორების გავლენაზე (გამხსნელზე, ტემპერატურაზე, კონცენტრაციაზე და სხვ.) და ანტიბატურად იცვლება. ბირთვის ზომის შემცირებას თან ახლავს სოლვატური შრის სისქის გაზრდა და პირიქით. აღნიშნული ცვლილებები იწვევს ნავთობური კომპონენტების გადანაწილებას ბირთვსა, სოლვატურ შრესა და ნავთობურ დისპერსიულ სისტემას (ნდს) შორის. ასფალტენების სტრუქტურული ერთეულების გადანაწილება, თავის მხრივ, იწვევს მრავალი ასფალტენშემცველი დისპერსიული სისტემების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ექსტრემალურ შეცვლას.

1.5. მიკროელემენტები

დღეისათვის დადგენილია, რომ სხვადასხვა წარმოშობის ნავთობში არსებობს 60-ზე მეტი ელემენტი, რომლებიდანაც 30-მდე ლითონებია. მათ შორის დომინირებს: $V-10^{-5}+10^{-2}\%$; $Fe-10^{-4}+10^{-3}\%$; $Ni-10^{-4}+10^{-3}\%$; $Zn-10^{-5}+10^{-3}\%$; $Hg-10^{-5}\%$ -მდე; $B-10^{-3}+0,3\%$; Na , K , Ca , $Mg-10^{-3}+10^{-4}\%$.

ნავთობში ლითონთა ჯგუფური შემცველობა მერყეობს 0,01-დან 0,04%-მდე (მას.), ხოლო ნავთობიდან გამოყოფილ ფისოვან-ასფალტენურ ნაერთებში მათი შემცველობა პროცენტის მეთოდ მნიშვნელობასაც აღწევს.

ქრომატოგრაფიული ანალიზებით დადგინდა, რომ მძიმე ლითონების (ვანადიუმი და ნიკელი) შემცველი ნაერთები თავმოყრილია ფისებში და ასფალტენებში. მიკროელემენტების შემცველობა ასფალტენებში უფრო მაღალია, ვიდრე ფისებში, რადგან ფისების შემცველობა ნავთობში და ნარჩენ ფრაქციებში მნიშვნელოვნად მცირეა. ასფალტენებთან შედარებით, ლითონების ძირითადი მასა თავმოყრილია ფისებში.

ნავთობისა და ნავთობური სისტემების ლითონშემცველი ნაერთები თავისი ქიმიური ბუნებით წარმოადგენენ ლითონთა მარილებს, ელემენტორგანულ ნაერთებს, პოლილიგანდურ კომპლექსებს ან π -კომპლექსებს.

ორგანული მჟავების, ფენოლების, თიოლების მარილები ნავთობში წარმოდგენილია უპირატესად ტუტე და ტუტეშიწა ლითონებით, რაც ადვილებს წყლით გარეცხვის პროცესში მარილთა ჰიდროლიზს.

ლითონორგანული ნაერთები ნახშირბად-ლითონის ბმით ნავთობში ჯერჯერობით არ არის აღმოჩენილი.

ფართოდ გავრცელებული ლითონორგანული ნივთიერებები ნავთობში პოლილიგანდური კომპლექსებია, სადაც ლიგანდი შეიძლება იყოს ნებისმიერი პეტერორგანული ნაერთი. ასეთი კომპლექსები წარმოიქმნება ლითონთა Fe, Co, V, Ni, Cr, Zr და ა.შ. ატომების კოორდინაციით პეტერორგანული ნაერთების N, S, O ატომებთან. კომპლექსის სიმტკიცეს განაპირობებს პეტეროატომისა და ლითონის ბუნება. ნავთობური კომპლექსის ტიპური ბუნებრივი ნაერთია პორფირინები, სადაც აზოტის ატომები კოორდინაციული ბმებით უკავშირდება ცენტრში არსებულ ვანადიუმს ან ნიკელს.

ბუნებრივ ბიტუმებში ლითონპორფირინული კომპლექსების რაოდენობა $1\text{მგ}/100\text{გ}$, ხოლო მაღალი სიბლანტის ნავთობებში $20\text{მგ}/100\text{გ}$ -ია. დადგენილია, რომ ვანადიუმ-პორფირინული კომპლექსების 40% თავმოყრილია ნდს-ის დისპერსიულ ნაწილაკებში, ხოლო მათი დანარჩენი ნაწილი და ნიკელპორფირინული კომპლექსები – დისპერსიულ არეში.

ასფალტენების შედგენილობაში მყოფი ვანადიუმპორფირინები ზრდის ნავთობის ზედაპირულ აქტივობას, მაშინ როცა ასფალტენების ზედაპირული აქტივობა მცირეა.

ნაკლებად შესწავლილია ლითონპორფირინების გავლენა ნავთობის დისპერსიულ აგებულებასა და ნავთობურ სისტემებში ფაზური გადასვლების მომდინარეობის პირობებზე.

1.6. ნავთობური დისპერსიული სისტემები (ნდს)

ნავთობური სისტემები, ერთი მხრივ, ხსნარებია, სადაც მაღალმოლეკულური ნაერთები გახსნილია დაბალმოლეკულურში და, მეორე მხრივ – მიკროპეტროგენული სისტემები. აქედან გამომდინარე, ნავთობური სისტემები განიხილება, როგორც ხსნარები და როგორც დისპერსიული სისტემები. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ცოდნა სისტემის მდგომარეობის შესახებ, კერძოდ, იგი იმყოფება მოლეკულურ თუ დისპერსიულ მდგომარეობაში. ერთი და იმავე შედგენილობის, მოლეკულური და დისპერსიული მდგომარეობების სისტემებს ახასიათებს განსხვავებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები და ქცევის კანონზომიერება.

კლასიკური გაგებით, დისპერსიული სისტემა, მათ შორის ნავთობურიც, შედგება დისპერსიული ფაზის და სადისპერსიო არისაგან. ნავთობური დისპერსიული სისტემა აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით 9 ტიპად იყოფა (ცხრილი 1).

მოლეკულური ხსნარები და ასოცირებული სითხეები განსხვავდებიან ერთ ფაზაში დისპერგირების ხარისხით. დისპერსიულობის მიხედვით ნდს იყოფა სამ ძირითად ჯგუფად: ულტრამიკროპეტროგენული ნდს (პეტროგენული ნაწილაკის ზომაა 1-დან 100 ნმ-მდე); მიკროპეტროგენული ნდს (ნაწილაკის ზომაა 100-დან 10000 ნმ-მდე) და მაკროდისპერსიული ნდს (ნაწილაკის ზომაა >10000 ნმ-ზე).

ნდს-ში გვხვდება ყველა ზომის ნაწილაკი. ნდს-ის დისპერსიულ სტრუქტურულ ელემენტს ეწოდება „რთული სტრუქტურული ერთეული“ (რსე). რსე ფაზური ნაწილაკია. მასში განასხვავებენ შიგა ნაწილს (ბირთვს) და სოლვატურ გარსს, რომელიც წარმოქმნილია შესაბამისი კომპონენტებისაგან და შემოსაზღვრავს ბირთვს. რსე წარმოქმნილია ფისოვან-ასფალტენური ნაერთებისა და სხვა ნავთობური პეტროროგანული კომპონენტებისაგან.

ნარჩენი ნავთობპროდუქტებიდან, კერძოდ, გუდრონიდან, ბიტუმიდან, ლაკოქსის პროდუქტებიდან ექსპერიმენტულად გამოყოფილია რსე-ს სოლვატურ შრეში შემავალი კომპონენტები. დადგენილია, რომ აღნიშნულ კომპონენტებს ახასიათებს დაბალი მოლეკულური მასები, მაღალპოლარული ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაცია და პარამაგნიტური მოლეკულების დაბალი კონცენტრაცია.

ნღს-ის კლასიფიკაცია აგრეგატული მდგომარეობის,
დისპერსიული ფაზისა და სადისპერსიო არის მიხედვით

№	აგრეგატული მდგომარეობა		ნღს-ის ტიპი	მაგალითები
	დისპერსიული ფაზა	სადისპერსიო არე		
1	2	3	4	5
1	აირი	აირი	პომოფაზური სისტემა	ხუნებრივი აირები
2	სითხე	აირი	ნისლი	ჰაერში, გამონაბოლქე აირებში შეტივტივებული ორგანული ნაერთების წვეთები; ზეთოვანი ნისლები; თანმზლები აირები
3	მყარი	აირი	აეროზოლი	გამონაბოლქე აირებში საწვავის არასრული წვეის მყარი პროდუქტები; ტექნიკური ნახ-შირბადი; აიროვანი ჰიდრატები.
4	აირი	სითხე	აიროვანი ემულსიები, ქაფები	თხევადი ნღს გაცხელების ან დუღილის პირობებში; ზეთები ღინამიკურ პირობებში; ბიტუმური ქაფები
5	თხევადი	სითხე	ემულსიები	წყალი-ნაეთიბი; სელექციურ გამხსნელებში ზოლოვანი ფრაქციების ხსნარები
6	მყარი	სითხე	ნაცრები, გულები, სუსპენზიები	საშუალოდ დისტორირებული საწვავები; ვაკუუმური გაზიოლები; ზეთოვანი ფრაქციები; ზეთები; ნეთობური ნარჩენები (მაზუთი, გუდრონი; ნახევრად გუდრონი); ბიტუმები; სქელფისები.
7	აირი	მყარი	გამყარებული ქაფები	ნეთობური კოქსი
8	სითხე	მყარი	მყარი ემულსიები	მყარი ნახშირწყალბადები; პეტროლატუმი, გაჩები
9	მყარი	მყარი	მყარი დისპერსიული სისტემები	ნეთობური კოქსი; ნახშირწყალბადოვანი ბოჭკოები; ნახშირბადლითონური კომპოზიციები (ნღკ)

ნეთობურ სისტემებში რსე-ს წარმოქმნა ხორციელდება ფაზური გარდაქმნების შედეგად, რომლებსაც იწვევს თერმობარული პირობების შეცვლა. აღსანიშნავია, რომ კარბენებისა და კარბოიდების ბირთვების მქონე რსე-ები შეუქცევი წარმონაქმნებია, ზოლო ასფალტენების, პარაფინების და აიროვან ფაზაში მყოფი ნახშირწყალბადების ბირთვები შექცევადია (ცხრილი 2).

ნღს-ის შეუქცევობის შემთხვევაში რსე ბირთვის ზომა დამოკიდებული არ არის გარე ფაქტორებზე. ბირთვის ზომის შესაბამისად მის გარშემო ფორმირდება გარკვეული სისქის ზედაპირული შრე.

ასფალტენშემცველ სისტემებში რსე-ებს უპირატესად სფერული ფორმა აქვს და მოცემულ პირობებში დამოუკიდებლად არსებობის უნარი შესწევს, ზოლო პარაფინშემცველ ნღს-ში რსე-ს ბირთვები მაღალმოლეკულური ალკანებისაგან შემდგარი არასფერული წარმონაქმნებია. შემოთავაზებულია ნღს-ების კლასიფიკაცია მათი სახეობისა და რსე-ს ფორმების მიხედვით (ცხრილი 2).

ნღს-ებში განასხვავებენ სამგანზომილებიან (ნაწილაკები), ორგანზომილებიან (მაფები, ბოჭკოები, კაპილარები, ფორები) და ერთგანზომილებიან (აფსკები) რსე-ებს.

რსე-ს ძირითადი ტიპები და მათი შედგენილობა

რსე-ს შედგენილობა		ნდს ტიპი	მაგალითები
შიგა ნაწილი	სოლვატური შრე		
კარბენები, კარბოიდები	პოლიციკლური არენები	შექცევი ნაცრები	ნავთობური სქელ-ფისები, პიროლიზური ფისები
ასფალტენები	მონო-, ბი-, პო-ლიციკლური არენები, ფისები	შექცევადი გელები და ნაცრები	ზეთოვანი ფრაქციები, ნავთობური ნარჩენები
მალაქოლექტულური პარაფინები	ფისოვან-ასფალტენური ნაერთები	შექცევადი გელები და ნაცრები	ნავთობი და ნავთობური ფრაქციები გაკივების დროს
აიროვანი ბუმტი დაბალმolecular კომპონენტებისაგან	მალაქმდლარე კომპონენტები	შექცევადი აიროვანი ებულსიები	ნავთობი და ნავთობური ფრაქციები დუღილის პროცესში

რსე-ს გარდა, ნდს-ში არსებობს ბუნებრივი და სინთეზური წარმოშობის ზან-ის მიცელები. უკანასკნელნი მისართის სახით შეჰყავთ ნავთობურ სისტემებში მათი ტრანსპორტირების და გადა-მუშავების ტექნოლოგიური მარცვრულების გასაუმჯობესებლად და ასევე ნავთობპროდუქტების სხვა-დასხვა საექსპლუატაციო თვისებების სარგებლობისთვის. ზედამხედველად აქტიური ნივთიერებები (ზან) შეიძლება წარმოიქმნას ნდს-ების დაყენების დროს, რაც დადასტურდა გაზოილის, დიზელის საწვავის და ნ-პეტადეკანის დაყენების კინეტიკის შესწავლით. ზედამხედველად აქტიურ თვისებებს ამჟღავნებს ნავთობური სისტემების ბუნებრივი კომპონენტები, ისეთები, როგორებიცაა: ნავთობური მჟავები და ფენოლები, ფისები, ვანადილპორფირიანი კომპლექსები და ა.შ. ჩვეულებრივ, ნავთობურ სისტემებში ბუნებრივი და სინთეზური წარმოშობის ზან-ებიდან წარმოიქმნება ერთობლივი მიცელები.

კონცეფცია რსე-ს შესახებ ამტკიცებს, რომ ბირთვის ზომა და სოლვატური შრის სისქე დინამიკურად იცვლება გარე ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად.

1.7. დისიპაციური სტრუქტურები

ნავთობური სისტემები არაწონასწორული ღია სისტემებია, რადგან ნავთობის რეწვის ტექნოლოგიური პროცესების, ტრანსპორტირების, გადამამუშავებისა და ნავთობპროდუქტების გამოყენების დროს ადგილი აქვს ენერგიების (თბური ნაკადები) და მასების (მასგადატანა) ურთიერთგაცვლას გარემომცველ გარემოსთან. ღია სისტემების ურთიერთქმედებას გარემომცველ გარემოსთან შეისწავლის მეცნიერება-სინერგეტიკა. ღია სისტემებში ადგილი აქვს თვითორგანიზაციის პროცესებს-თავისთავად არაწონასწორული დინამიკური სტრუქტურების წარმოქმნას. ასეთ სისტემებში არსებული მოლეკულების მიერ გამოვლენილი თვისებები დამოკიდებულია სისტემაში შემავალი თითოეული მოლეკულის თვისებებზე.

სინერგეტიკაში თვითორგანიზებად სტრუქტურებს დისიპაციური სტრუქტურები ეწოდება. ანსამბლში ნაწილაკები მოქმედებს კოლექტიური თვითმეთანხმებით. სწორედ, ასეთი ტიპის ნაწილაკები წარმოადგენს რსე-ს დინამიკურ, რთულად აგებულ წარმონაქმნებს. გარედან ზემოქმედებების გავლენით ან თბური- ან მასაგადატანის პროცესების შედეგად ღია ნავთობურ სისტემებში ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის დროს მათ შესწევთ შინაგანი გარდაქმნების უნარი.

დადგენილია, რომ ტექნოლოგიური პროცესების ჩატარების დროს დისიპაციური სტრუქტურები წარმოიქმნება მუდმივი შერევის გამდინარე ტიპის რეაქტორებში. ნავთობგადამამუშავებელ და ნავთობქიმიურ წარმოებებში მათთვის დამახასიათებელი პროცესები ძირითადად გამდინარე ტიპის აპარატებში ხორციელდება. ნივთიერებები და რეაგენტები რეაქტორებში შედის განსაზღვრული კონცენტრაციით და ტემპერატურით, ხოლო გარკვეული დროის შემდეგ იქიდან გამოდის კონცენტრაციისა და ტემპერატურის განსხვავებული მაჩვენებლებით.

1.8. ფრაქტალური სტრუქტურები

სტრუქტურებს, რომლებიც წარმოიქმნება ფიზიკურ სისტემებში ნაწილაკების დიფუზური მოძრაობის დროს მათი ასოცირების შედეგად, ფრაქტალური ეწოდება.

ნავთობურ სისტემებში ფრაქტალურ სტრუქტურებს მიეკუთვნება ასფალტენური ნაწილაკები და სქელფისები. წარმონაქმნების სირთულის ხარისხის მიხედვით განასხვავებენ მოლეკულურ-ატომურ, ზემოლექულურ და მაკროსკოპულ სქელფისებს. ფრაქტალური განზომილებების ინვარიანტულობა ბევრად ამარტივებს სქელფისების აღწერას.

ცნობილია, რომ ნავთობურ დისპერსიულ სისტემებში (ნღს) მათი თვისებების დასახასიათებლად გამოყენებულია რსე-ს (რთული სტრუქტურული ერთეული) მოდელი. ფრაქტალური თეორიის თვალსაზრისით, რსე-ს მოდელი ნღს-ის ზღვრული მომენტია, როდესაც ფრაქტალური განზომილება ემთხვევა ან უახლოვდება ტოპოლოგიურ განზომილებას. ნავთობურ სისტემებში ფრაქტალური სტრუქტურები წარმოიქმნება მოლეკულათა მოწესრიგებული გადანაწილების გართულებით, რაც გამოწვეულია მათი დიფუზური მოძრაობის ტრაექტორიის ცვლილების გამო. სქელფისების ფრაქტალური სტრუქტურები ძირითადად წარმოდგენილია ასფალტენების ნაწილაკებზე ადსორბირებული ფისებით ზემოლექულური წარმონაქმნების სახით.

1.9. სხვადასხვა რიგის ნახშირწყალბადების გამოყოფის

მეთოდები

ნავთობის შედგენილობის კვლევის დროს საჭიროა მიღებული ფრაქციების დაყოფა ცალკეული რიგის ნახშირწყალბადებად: ნ-პარაფინებად, ციკლოპარაფინებად, იზოპარაფინებად და არენებად. აგრეთვე ციკლოპარაფინებისა და არენების დაყოფა მონოციკლურ, ბიციკლურ, ტრიციკლურ და პოლიციკლურ ნახშირწყალბადებად.

არსებობს სხვადასხვა რიგის ნახშირწყალბადების ერთმანეთისგან დაცილების მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება ნავთობის ნებისმიერი ფრაქციებისათვის. მაგ., ნავთობიდან არომატული რიგის ნახშირწყალბადების მოცილება შეიძლება აღსორბციულ-ქრომატოგრაფიული ან ექსტრაქციული მეთოდით; ნ-პარაფინების მოცილება კარბამიდული მეთოდით კარბამიდთან აღუქმის წარმოქმნით ან მოლეკულური საცრებით 5 A „პარექსი“. აღნიშნული მეთოდებისგან განსხვავებით პრობლემატურს წარმოადგენდა იზოპარაფინებისა და ციკლოპარაფინების ერთმანეთისგან დაცილება. ეს პრობლემა გადაწყდა ციკლოპარაფინების დეჰიდრირებით, მათი არენებში გადაყვანითა და შემდგომ მათი დაცილება აღსორბციულ-ქრომატოგრაფიული გზით. მაგრამ იყო გარკვეული წინააღმდეგობა, რადგან, ციკლოალკანების სხვადასხვა აღნაგობის გამო, ყველა არ განიცდიდა დეჰიდრირებას, შედეგი არახელსაყრელი და არაზუსტი მიიღებოდა. ციკლოალკანების სრულყოფილი დაყოფის შესაძლებლობა იზო-ალკანებისაგან გამარტივდა თერმული დიფუზიით, რომელიც განსხვავებით იმ მეთოდებიდან, როგორიც არის გამოხდა, ექსტრაქცია, აღსორბცია თუ კრისტალიზაცია, ნარეკს ყოფს მასში არსებული მოლეკულების აგებულების მიხედვით.

ნაფთენების გამოყოფა თერმოდირფუზური მეთოდით

თერმული დიფუზია ეს ის ეფექტია, რომლის დროსაც პომოგენურ ნარეკში ტემპერატურული გრადიენტის გავლენით წარმოიქმნება კონცენტრაციის გრადიენტი. ეს ეფექტი წარმოიქმნება როგორც აირად, ისე თხევად ფაზებში.

თერმოდირფუზური დაყოფა ხორციელდება თხევად ფაზაში სპეციალურ აპარატში. დასაყოფი ნარეკი თავსდება აპარატის გამაცხელებელ და გამაცივებელ კედლებს შორის სივრცეში. მათ შორის მანძილი შეადგენს მილიმეტრის რამდენიმე ათეულს. თერმოდირფუზიის შედეგად ერთი აგებულების მოლეკულები გროვდება ანუ კონცენტრირდება ცხელი კედლის ირგვლივ. კედლები ორივე ვერტიკალურია, ცხელი კედლის ირგვლივ კონცენტრირებული მოლეკულები მიემართება სვეტის ზედა ნაწილში, ხოლო მოლეკულები, რომლებიც დიფუნდირდა ცივ კედელთან, იწყებს საწინააღმდეგო დინებას და კონცენტრირდება ცივი სვეტის ქვედა ნაწილში. მოლეკულების აგე-

ბულების მცირე სხვაობაც კი მოქმედებს ღიფუზურ მიმართულებაზე, ამიტომ ნათობში ცალკეული ნახშირწყალბადების დაყოფა მიმდინარეობს ძალიან კარგად. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის, რომ დაყოფა დამყარებულია არა მხოლოდ მასაზე, არამედ მოლეკულის ტიპზე, რის გამოც კარგად დაიყოფა ფართო ფრაქციის სხვადასხვა რიგის ნახშირწყალბადებიც.

თერმოდინამიკური სეექტი დაყოფილია 10 ზონად.

ღიფუზურ დაყოფაზე გაველნას ახდენს დროის ფაქტორი: 1, 3, 6, 9 ან 15 სთ. დადგენილია, რომ დაყოფა თავიდან ინტენსიურია (85%), ხოლო 6 სთ-ის შემდეგ შენელებულია, 9 სთ სავსებით საკმარისია დასაყოფად. 10 დასაყოფი ზონიდან სამი ზონის ფრაქციები 1, 2, 3 ახლოა ერთმანეთთან პარამეტრებით; ასევე სეექტის ქვედა სამი ზონის – 8, 9, 10, ხოლო შუა ზონის ფრაქციები დასაყოფი ნახშირწყალბადების ნარევეს წარმოადგენს, რაც ხელახლა დაყოფას მოითხოვს.

მუდმივი დროის განმავლობაში გაველნა აქვს აგრეთვე ტემპერატურას 60°C, 90°C და 120°C; ყველაზე კარგი შედეგია 90°C-ზე (დაყოფა შეადგენს 98%-ს); ხოლო 120°C-ზე, დაყოფა უმნიშვნელოდ იცვლება (98,1%).

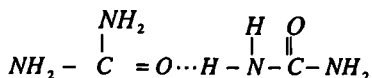
განვიხილოთ თერმოდინამიკურით ნ-ნონანის და იზოპროპილბენზოლის ნარევის 50/50% დაყოფა 90°-98°C 9 საათის განმავლობაში (ნახ. 1.4). დაყოფის ხარისხმა 83%-ს მიაღწია. თხევადი თერმოდინამიკური სეექტის სქემა წარმოდგენილია 1.3 ნახ-ზე.

ნათობიდან ნ-ალკანების გამოყოფა

ნახშირწყალბადების კომპლექსები კარბამიდთან (შარდოვანასთან) და თიოკარბამიდთან (თიო-შარდოვანასთან) ჰექსაგონალურ კრისტალში არხის მქონე ადუქტებს მიეკუთვნება.

დადგენილია, რომ ხაზოვანი სტრუქტურის ალიფატური ნაერთების მოლეკულები, კერძოდ, ნ-ალკანები, C – 9 და მეტი ნახშირბადატომის შემცველნი, კარბამიდთან კრისტალურ კომპლექსებს წარმოქმნიან, ხოლო განტოტვილი ალკანები, ციკლოალკანები და არენები, როგორც წესი, არ შედიან კარბამიდთან კომპლექსში.

კარბამიდი ძლიერ ასოცირებული ნაერთია მოლეკულათშორისი წყალბადური ბმების წარმოქმნის გამო:



რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგინდა, რომ კარბამიდს აქვს ტეტრაგონური კრისტალური მესერი, რომელიც კომპლექსის წარმოქმნის დროს იცვლება ჰექსაგონურში. კომპლექსის სტრუქტურა ხასიათდება კარბამიდის ასოცირებული მოლეკულების განლაგებით წესიერი

პრიზმის წახნაგებზე სპირალის სახით. ელემენტარული უჯრედი შედგება კარბამიდის ექვსი მოლეკულისაგან, რომლებიც იმყოფება 0,37 ნმ მანძილზე ერთმანეთის მიმართ. სპირალის შიგნით წარმოიქმნება პექსაგონური ფორმის ეფექტური დიამეტრის 0,525 ნმ მქონე არხი. ნ-ალკანების კვეთის დიამეტრი შეადგენს დაახლოებით 0,42 ნმ, ამიტომ ნ-პარაფინები კარგად თავსდება არხში და შეკავდება მასში ვან-დერ-ვაალსის ძალების ხარჯზე. განტოტეილი ალკანების, ციკლოალკანებისა და არენების მოლეკულების დიამეტრები აღემატება არხის დიამეტრს, ამიტომ, როგორც წესი, ვერ წარმოქმნის ადუქტებს კარბამიდთან.

კომპლექსების სტაბილურობა იზრდება ნ-ალკანების ჯაჭვის გაგრძელებით. ასე, მაგ., ნ-პექსანის კარბამიდთან კომპლექსის დაშლის ტემპერატურა 38°C -ია, კომპლექსის დაშლის ენთალპია 21 კჯ/მოლი, ზოლო ნ-დოდეკანის – შესაბამისად, $90,9^{\circ}\text{C}$ და 54 კჯ/მოლ. პენტანთან და ნ-ალკანებთან $C<N$ -ზე ადუქტის წარმოქმნა გაძნელებულია ოთახის ტემპერატურისა და ატმოსფერულ წნევის პირობებში შესაბამისი კომპლექსის გამოყოფა ვერ ხერხდება.

კარბამიდთან ადუქტებს წარმოქმნის არა მარტო ნ-ალკანები, არამედ სხვა რიგის ნახშირწყალბადები, რომელთა მოლეკულებს აქვს საკმარის გრძელი ალკილის განტოტეილი ჩანაცვლებელი. ასე, მაგ., თუ მეთილის ჯგუფი იმყოფება მონომეთილალკანის 2, 3, 4 ან 5 მდგომარეობაში, მაშინ ადუქტის წარმოსაქმნელად ჯაჭვის ხაზოვანი უბანი უნდა შეიცავდეს შესაბამისად არანაკლებ 11, 14, 15 ან 16 ნახშირბადატომებს. ციკლურ ნახშირწყალბადებსაც ასევე აქვს უნარი წარმოქმნას კომპლექსები, თუ ხაზოვანი გვერდითი ჯაჭვი შეიცავს არანაკლებ 18 ნახშირბადატომებს.

ამ მიზეზით ნ-ალკანების კარბამიდური გამოყოფის მეთოდის სელექციურობა მცირდება ნათობის ფრაქციების დუღილის ტემპერატურის ზღვარის გაზრდისას და უფრო ეფექტურია ნედლეულის კარბამიდური დეპარაფინიზაცია $\leq 350^{\circ}\text{C}$ დუღილის ტემპერატურაზე.

ნ-ალკანების კომპლექსები კარბამიდთან მიეკუთვნება არასტექიომეტრულ ნაერთებს – თანაფარდობა კომპლექსში კომპონენტების მოლთა რიცხვს შორის არ არის მთელი რიცხვი. ასე, მაგ. მოლეკულური თანაფარდობა კარბამიდ-ნ-ალკანი პექსანისათვის 5,43-ია, დოდეკანისათვის 9,42 და ა.შ. შემოთავაზებულია სხვადასხვა ემპირიული ფორმულები ამ თანაფარდობის გასათვლელად, რომელთა მიხედვით ნ-ალკანის მოლეკულის ყოველ CH_2 -ზე უნდა მოდიოდეს დაახლოებით 0,7 მოლი კარბამიდი.

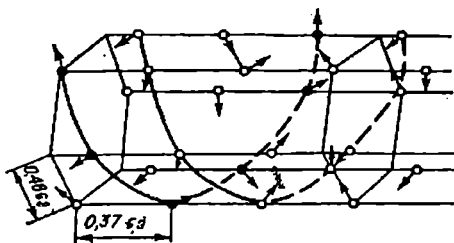
კომპლექსი თიოკარბამიდთან $\text{NH}_2\text{C}(\text{S})\text{NH}_2$ ასევე მიეკუთვნება სიმეტრიის ღერძის მქონე ზერელიან ნაერთს. წყალბადური ბმები გოგირდის ატომის მონაწილეობით ნაკლებად სტაბილურია, კარბამიდთან შედარებით. თიოკარბამიდის მოლეკულებს შორის მანძილი შესაბამისად იზრდება და წარმოიქმნება დიდი დიამეტრის (0,6-0,7 ნმ) არხები. ამიტომ „სტუმარი“ მოლეკულის სახით შეიძლება წარმოდგენილი იყოს იზოაგებულების ალკანები, ციკლოალკანები, ზოგი-

ერთი არენები, მათ მიეკუთვნება იზოპრენოიდული აგებულების ნახშირწყალბადები, ციკლო-პექსანი. დეკალინი, ადამანტანი, დიროლი. ნ-ალკანები, როგორც წესი, თიოკარბამიდთან არ იძლევა სტაბილურ ადუქტებს, რადგან მათი მოლეკულების გვერდითი კეფთა მნიშვნელოვნად ნაკლებია არხის დიამეტრზე და შედარებით სუსტ ეან-დერ-ვაალსურ მიზიდვის ძალებს არ შესწევთ უნარი შეაკავონ ნ-ალკანები არხში.

თიოკარბამიდი ნაკლებსელექციური გამყოფი აგენტია, ვიდრე კარბამიდი. თიოკარბამიდური მეთოდი უზრუნველყოფს მხოლოდ ნახშირწყალბადების განსაზღვრული ჯგუფების კონცენტრირებას პრეპარატული – ანალიზური მიზნით. ასე, მაგ., სხვა მეთოდებთან შეხამებით თიოკარბამიდთან კომპლექსწარმოქმნა უზრუნველყოფს იზოპრენოიდული აგებულების ალკანების, ადამანტანების და მათი პომოლოგების კონცენტრატების მიღებას და ძალიან ახლო დუდილის ტემპერატურების მქონე ცის- და ტრანს-დიალიკილციკლოპექსანების დაყოფას.

შემოთავაზებულია მეთილციკლოპენტანის და ციკლოპექსანის გამოყოფა თიოკარბამიდთან კომპლექსის წარმოქმნით აქტივატორის (მეთანოლის) თანაობისას.

ნაერთებს აქვს უნარი წარმოქმნას კომპლექსები ნახშირწყალბადებთან. ესენია: დეზოქსიჟოლინის მეფა (არხის დიამეტრი 0,5-0,6 ნმ), 4,4'-დიჰიდროქსიტრიფენილმეთანი (არხი 0,6-0,65 ნმ), γ -ციკლოდექსტრინი (არხი 0,9-1,0 ნმ). მაგრამ ამ ნაერთებმა ვერ პოვა ისეთი ფართო გამოყენება ნათობის ნახშირწყალბადების დაყოფის პრაქტიკაში, როგორც კარბამიდმა ან თიოკარბამიდმა.



ნახ. 15. კარბამიდის კომპლექსის კრისტალური მესრის სქემა:

- – კარბამიდის მოლეკულის ჟანგბადის ატომები;
- – ერთი ელემენტალური უჯრედის ჟანგბადის ატომი

2. ნავთობის პირველადი გადამამუშავება

2.1. ნავთობის სტაბილიზაციის დანადგარი

ა) ნავთობის

სტაბილიზაციის დანადგარის დანიშნულებაა ნავთობში გახსნილი აიროვანი კომპონენტების მოცილება. ნაჯერი ორთქლის მაღალი წნევის გამო აირები გამოიყოფა ნავთობიდან, რომელიც წაიტაცებს ბენზინის ფრაქციის მსუბუქ კომპონენტებს.)

ქვემოთ მოყვანილია ტემპერატურები და შესაბამისი ნაჯერი ორთქლის წნევები მსუბუქი ნახშირწყალბადებისათვის

ტემპ., °C	0	10	20	30	40	50
			წნევა, მპა			
ეთანი	2,31	2,92	3,65	4,50	—	—
პროპანი	0,46	0,62	0,82	1,60	1,34	1,66
ნ-ბუტანი	0,10	0,14	0,20	0,27	0,37	0,48

რეზერვუარებში ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ჩასხმისა და გადმოსხმისას ადგილი აქვს ორთქლებას. ამ დროს დანაკარგები 5%-ს აღწევს. გარდა ამისა, ნავთობში აირების არსებობისას მილგაყვანილობებში წარმოიქმნება ორთქლის საცობები, რომლებიც გადატუმბვას აძნელებს.

(ნავთობის სტაბილიზაციის დანადგარები შენდება და ექსპლუატირდება სარეწებზე. ნავთობის სტაბილიზაციისთვის იყენებენ ერთ- ან ორსვეტიან დანადგარებს. ორსვეტიანი დანადგარი გამოიყენება როგორც ნავთობის, ასევე ბენზინის სტაბილიზაციისათვის, ნავთობში დიდი რაოდენობით გახსნილი აირების გამოსაყოფად) (დაახლოებით 1,5%-ზე მეტი).

ნავთობის სტაბილიზაციის ორსვეტიანი დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა მოცემულია 2.1 ნახ-ზე.

ნელდი ნავთობი სარეწაოს რეზერვუარიდან ორთქლის თბომცვლელის გავლით 60°C-იანი ტემპერატურით მიეწოდება სტაბილიზაციის პირველ სვეტს ზედა თეფშზე. სვეტი ღჭურვილია ღარიანი თეფშებით. თეფშების რიცხვი შეიძლება იყოს 16-დან 26-მდე, რომელთაგან ზედა წარმოადგენს გამთიშს, სამი ქვედა — შემკრებს. ჭარბი წნევა 0,2-0,4 მპა-მდე უკეთეს პირობებს ქმნის ბენზინის ორთქლის კონდენსაციისათვის კონდენსატორ-მაცივარში. ნავთობი, ჩაედინება რა ზედა თეფშიდან ქვედაზე, ეხება უფრო მეტად გაცხელებულ ზევით მიმავალ ორთქლს და თავისუფლდება მსუბუქი ფრაქციებისაგან. სვეტის ქვედა ნაწილში ტემპერატურა 130-150°C-ის ზღვრებში რეგულირდება სტაბილური ნავთობის სითბოს ზარჯზე. სტაბილური ნავთობი სვეტის ძირიდან თბომცვლელის გავლით, სადაც სითბოს გადასცემს ნელდ ნავთობს, შედის სტაბილური ნავთობის რეზერვუარში. აქედან იგი ტრანსპორტირდება ნგქ-ში.

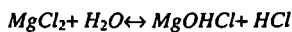
აირებისა და ორთქლის ნარევეები, რომლებიც ამოდის სვეტის ზედა ნაწილიდან, ცივდება კონდენსატორ-მაცივარში და კონდენსატთან ერთად მიემართება აირმანაწილებელში. დაუკონდენსირებელი აირები აირწყალგამყოფის ზედა ნაწილიდან არსებული სარქველით გაიყვანება.

აირწყალგამყოფი დაყოფილია ვერტიკალური ტიხრებით. აპარატის ერთი ნახევრის ქვევიდან (სადრენაო ზაზთან მიერთებული) დონის რეგულატორის მეშვეობით გაიყვანება წყალი, მეორე ნახევრიდან კი კონდენსატი-ნახშირწყალბადების ნარევი. სტაბილური ბენზინი თბომცვლელის გავლით ცხელდება 70°C -მდე და მიეწოდება სტაბილიზაციის სვეტს ამორთქლებელ ნაწილში. სვეტში $30\text{--}32$ ლარიანი თეფშებია, წნევა – $1,3\text{--}1,5$ მპა. სვეტის ზედა ნაწილიდან გამოყოფილი მძიმე აირი (პროპან-ბუთანი) კონდენსირდება კონდენსატორ-მაცივარში. დაუკონდენსირებული აირისაგან იგი გამოიყოფა აირსეპარატორში, რომლის ზედა ნაწილიდან გამოსული აირი უერთდება მშრალ აირს; ხოლო მძიმე აირის ნაწილი კონდენსატის სახით მიდის სვეტის მორწყვაზე; ფლევმის მეშვეობით სვეტის ზედა ნაწილში ტემპერატურა შენარჩუნდება $40\text{--}50^{\circ}$ -ის ზღვრებში. არსებული აირების სრულად გამოსაყოფად სვეტის ქვედა ნაწილში ტემპერატურა უნდა იყოს $120\text{--}130^{\circ}\text{C}$ -ზე მაღალი. ასეთ ტემპერატურას ინარჩუნებენ მადულარას ორთქლით. მადულარაში კონდენსატი ბენზინი ცხელდება $160\text{--}180^{\circ}\text{C}$ -მდე (წნევა $0,3\text{--}0,5$ მპა), მადულარაში წარმოქმნილი ორთქლი შედის მეორე სვეტის ქვედა ნაწილში, ხოლო სითხე, სტაბილური ბენზინის სახით, შიგა ტიხრის გადაღახვით, სის-ტემის წნევით გაივლის თბომცვლელს, მაცივარს და მიეწოდება სტაბილური ბენზინის რეზერვუარს; ამრიგად, მეთანის, ეთანისა და 95% პროპანის მოცილების შემდეგ 40°C -ზე ნავთობის ნაჯერი ორთქლის წნევა $0,85$ -დან ეცემა $0,03$ მპა-მდე, რომლის შედეგად ნავთობის ფრაქციული შედგენილობის სტაბილურობა გარანტირებულია ტრანსპორტირებისა და შენახვის დროს.

2.2. ნავთობის გაუმარილოება

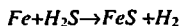
(ჭაბურღილებიდან ამოღებული ნავთობი აირების გარდა შეიცავს მასში გახსნილ და უხსნად ნივთიერებებს. ესენია: წყალი, წყალში ხსნადი და უხსნადი მარილები, სილა, ლამი და თიხა. მყარი ნაწილაკების რაოდენობა $1,5\%$ არ აღემატება, ხოლო წყალი მერყეობს 0% -ის ნაწილებიდან 90% -მდე, განსაკუთრებით დიდი რაოდენობითაა იგი გაღარიბებულ ჭაბურღილებში.)

წყალში ხსნადი მარილების ნაწილი პიდროლიზდება, ნაწილი კი არა, მაგ., NaCl არ პიდროლიზდება; CaCl_2 -ნაწილობრივ (10%), ხოლო MgCl_2 თითქმის მთლიანად პიდროლიზდება (90%)

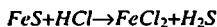


რის გამოც ხდება კოროზია.

H_2S წარმოიქმნება გოგირდიანი ნავთობის გამოხდით. იგი იწვევს ლითონების კოროზიას ლითონებთან რეაქციაში შესვლის დროს:



მიღებული HCl შედის რეაქციაში FeS -თან და კვლავ წარმოქმნის H_2S -ს



იგი ხელს უწყობს ახალი ციკლის დაწყებას, ნავთობის შერევის წყალთან .და მდგრადი ემულსიური სისტემის წარმოქმნას, რასაც ერთმანეთთან უმოქმედოდ განუსაზღვრელი დროით შეუძლია არსებობა.

(ნავთობის დისპერსიული სისტემების მდგრადობა განისაზღვრება ნავთობის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით: დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების ზომით (დისპერსიის ხარისხით), ტემპერატურითა და დროით, რაც მაღალია ნავთობის სიმკვრივე და სიბლანტე, მით დაბალია ტემპერატურა და მაღალია დისპერსიის ხარისხი და მით უფრო მდგრადია ემულსია.)

(ნავთობის ემულსიას შლიან მექანიკური, ქიმიური და ელექტრომეთოდებით. ნავთობის გაუმარილობა და გაუწყლობა ძირითადად წარმოებს ელექტროგაუმარილობისა და გაუწყლობის $\Sigma I O Y$ დანადგარზე; ელექტროდეჰიდრატორში ხდება ნავთობიდან დეჰემულგატორთან ერთად მარილწყალხსნარის გამოყოფა. მიღებულ ემულსიაზე მაღალი ძაბვის ელექტრული ველის და ამაღლებული ტემპერატურის გავლენით იშლება ემულსია.)

(ელექტროდეჰიდრატორი სამი ტიპისაა:)

პირველი ტიპი წარმოადგენს ერთ - ან, იშვიათად, ორსაფეხურიან ვერტიკალურ ელექტროდეჰიდრატორს, რომლის მოცულობა 30 მ³ -ია; გაუმარილობის პროცესში ნავთობის გაცხელება ხდება წყლის ორთქლით. პირველი ტიპის ელექტროდეჰიდრატორი არ არის დაკავშირებული AT და ABT-თან, იგი დგას განცნებულად.

მეორე ტიპის ელექტროდეჰიდრატორი ორსაფეხურიანია და კომბინირებულია AT და ABT-თან. მასში ნავთობის გაცხელება ხდება ცხელი ნავთობპროდუქტებით. მისი მოცულობა 600 მ³-ია; იგი სფერული ფორმისაა.

მესამე ტიპის კი ორ- ან სამსაფეხურიანია, პორიზონტალურია, მასში ნავთობის გაცხელება 160°C-მდე ზორციელდება გამონახადი პროდუქტების სითბოს ხარჯზე; იგი დაკავშირებულია AT ან ABT-თან.

(სამივე ტიპის დეჰიდრატორი ბლოკური სისტემისაა.)

ელექტრული დენის დახმარებით წერილდისპერსიული (ნავთობი-წყალი) ემულსიები შედარებით ადვილად ირღვევა. წყლის წვეთები, რომლებიც იმყოფება არაპოლარულ სითხეში, პოლარიზდება, იწელება ელიფსად და საწინააღმდეგოდ დამუხტული ბოლოებით მიიზიდება ერთმანეთთან და მსხვილდება. ამ დროს მიზიდულობის ძალები იზრდება ისეთ დონემდე, რომ ამ ძალებს შეუძლია წყლის წვეთი მოხლიჩოს ნავთობის წვეთს (ნავთი-წყალი) ემულსიაში და გახლიჩოს

მათი გამოყენების შედეგად აფასდა. ელექტროდეჰიდრატაციის პროცესს ხელს უწყობს დეჰუმულ-გატორები და მაღალი ტემპერატურები.

(წყლის ორთქლის თავიდან ასაცილებლად და აირების შესამცირებლად დეჰიდრატორში გაუმარილოებისა და გაუწყლოების დანადგარები გაზრდილი წნევის პირობებში მუშაობს.)

(დეჰუმულგატორები) შეჰყავთ როგორც სარეწაოებზე, ისე ნექ-ში. მათი (შერჩევა ხდება ნავთობის ტიპის (არომატული, პარაფინული), მასში წყლის რაოდენობის, შერევის ინტენსიურობის, ტემპერატურისა და სხვა პარამეტრების მიხედვით. დეჰუმულგატორს არ უნდა ჰქონდეს ცუდი სუნის, არ უნდა იწვევდეს კოროზიას, არ უნდა იყოს ტოქსიკური; უნდა იყოს სტაბილური და ეკოლოგიურად სუფთა.)

(დეჰუმულგატორებად გამოიყენება არაიზოგენური ზედაპირულად აქტიური ნაერთები) (ზან), მაგ., „სეპაროლ 5711, კემილიქს 3398, დისოლვანი“ და სხვ. (ცხრილი 3).

ცხრილი 3

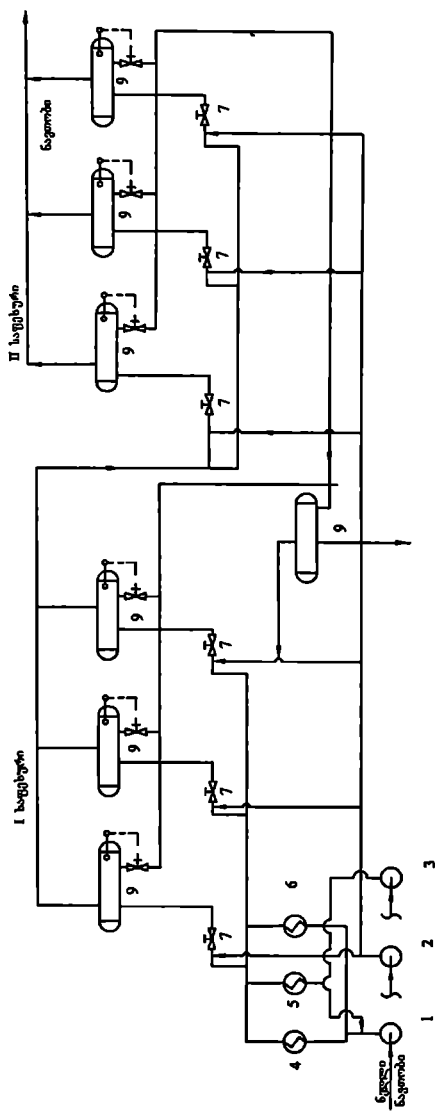
დეჰუმულგატორების ზარჯი ნავთობის ტიპის მიხედვით

	ნავთობის ჯგ.	$\rho, \text{კგ/მ}^3$	ჯ/ტ
1	მსუბუქი	760-840	არა უმეტეს 5
2	საშუალო	840-880	არა უმეტეს 10
3	მძიმე	880-920	არა უმეტეს 30
4	ძალიან მძიმე (ფისიანი)	>920	არა უმეტეს 50

ელექტროდეჰიდრატორში პირველ საფეხურზე ნავთობს გამოეყოფა 75-80% (მას.) მარილიანი წყალი; მეორეზე – კი ნავთობში მარილიანი წყლის 60-65% (მას.).

ЭЛОУ დანადგარის კომბინირება AT და ABT-ის დანადგარებთან ენერგორესურსების მაქსიმალურად დაზოგვის საშუალებას იძლევა ცხელი ნავთობპროდუქტების სითბოს გამოყენების ზარჯზე.

სქემაზე (ნახ. 2.2) წარმოდგენილია სამსაფეხურიანი დეჰიდრატორი. ნედლი ნავთობი 70-100°C-მდე ცხელდება თბომცვლელის მილებში და მიეწოდება ელექტროდეჰიდრატორებს თანამიმდევრობით 3-1-ს, 3-2-ს და რიგ შემთხვევაში 3-3-საც. მომდევნო თბომცვლელებში ნავთობი ცხელდება 110-120°C-მდე და მიეწოდება კოლექტორს, სადაც შეერევა წყალს (სასურველია უმარილო წყალს) გაუხსნელი მარილის კრისტალების გასასხნელად და ტუტის ხსნარს მჟავის გასანეიტრალებლად (რომელიც ნავთობში ხდება ჭაბურღილის მჟავათი დამუშავების დროს). ტუტისა და წყლის შერევის დროს ადგილი აქვს წნევის ვარდნას 0,15-დან 0,05 მპა-მდე. გაუხსნელებული ნავთობი კოლექტორიდან ნაწილდება პირველი საფეხურის ელექტროდეჰიდრატორის ექვს სექციაში.



ნახ. 2.2. ABT-ის დანადგარის ჰიდრო-პრინციული სქემა:

1-წელი წყლის ტუმბო; 2-წელის მისწოდებელი ტუმბო; 3-დამცავი ტუმბო; 4-5-წელი წყლის ტუმბო; 6-წელი წყლის ტუმბო; 7-მუხრევი ხარჯი; 8-სადრენო; 9-მუხრევი წყლის დამცავი ტუმბო;

4, 5, 6-წყლის გასაღებიანი მიწისქვეშა; 7-მუხრევი ხარჯი; 8-სადრენო; 9-მუხრევი წყლის დამცავი ტუმბო;

პირველი საფეხურის ელექტროდეჰიდრატორის ზევიდან ნაწილობრივ გაუწყლოებული ნავთობი შედის მეორე საფეხურის ელექტროდეჰიდრატორში ძირიდან. საჭიროების შემთხვევაში კი – მეორე საფეხურიდან მესამე საფეხურების ელექტროდეჰიდრატორში ანალოგიური გზით. მეორე და მესამე საფეხურების ელექტროდეჰიდრატორში ნავთობი ანალოგიურ წმენდას განიცდის. გაწმენდა შეიძლება დამთავრდეს მეორე საფეხურზეც. ჩამრეცხი წყლის ხარჯი ~5-10%-ია. წყალი გაცხელებულია 80-90°C-მდე მსუბუქი ნავთობის შემთხვევაში, საშუალო სიმძიმის ნავთობისთვის – 100-130°C, მძიმე ნავთობისათვის კი – 130-150°C-მდე.

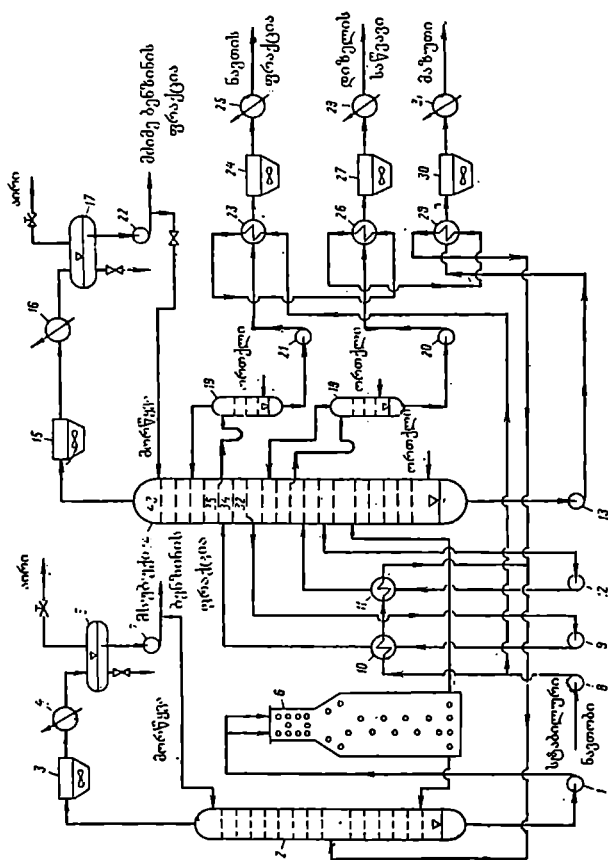
გაუმარილოებული და გაუწყლოებული ნავთობი II და III საფეხურების ელექტროდეჰიდრატორის ზედა ნაწილიდან მიეწოდება შესაბამის რეზერვუარს შემდეგი შედგენილობით (არა უმეტეს): ქლორიდები 40 – მგ/ლ, წყალი – 0,1%, მეკანიკური მინარევები – 0,5%; ნავთობი რეზერვუარიდან თბომცვლელის გავლით, სადაც ცხელდება 220-230°C-მდე მიეწოდება პირველ სარექტიფიკაციო სვეტის შუა ნაწილს.

2.3. ნავთობის ატმოსფერული გამოხდა (რექტიფიკაცია)

ორსვეტიან დანადგარზე

ნავთობის ატმოსფერული გამოხდა ნიშნავს ნავთობის დაყოფას ფრაქციებად ჭარბი ატმოსფერული წნევის პირობებში. მას საფუძვლად უდევს ფიზიკური პროცესები: ნავთობის გაცხელება და აორთქლება მილა ღუმელში და მისი შემდგომი ფრაქციონირება სარექტიფიკაციო სვეტში. შედეგად მიიღება აირი, ბენზინის, ნავთისა და ღიზელის ფრაქციები და ნარჩენი – მაზუტის სახით. ნავთობის ატმოსფერული გამოხდა მიმდინარეობს ორ სვეტში (ნახ. 2.3).

პირველი სვეტის ევაპორაციულ სივრცეში ზდება ორთქლის ფაზისა და ასაორთქლებელი სითხის გაყოფა. სითხე ზედა თეფშებიდან თანდათანობით იწურება და ჩადის ქვევით, სვეტის ქვედა ნაწილში ტემპერატურის შესანარჩუნებლად ღუმელთან ცირკულირებს „ნახევარმაზუთი“ – მსუბუქ ბენზინმოცილებული ნავთობი. სვეტში მიმდინარეობს სითბოსა და მასათა ცვლა, სვეტის ზედა თეფშზე მიწოდებული ცივი ფლევმისა და შემხვედრი ღინებით სვეტის ქვემოდან ამომავალი ორთქლის ნაკადის ხარჯზე. ასეთი მასათა ცვლის დროს მსუბუქი ორთქლი თანდათან თავისუფლდება მძიმე ფრაქციის ორთქლისაგან. მსუბუქი ფრაქცია ყველა თეფშის გავლის შემდეგ იღებს საჭირო თვისებებს.



ნახ. 2.3. ნავთობის ატმოსფერული გამოღვის დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა
 1, 7, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 22 - ტუმბოები; 2, 14 - სარეგულირებელი სვეტები; 3, 15, 24, 27, 30 - ჰერმეტიკები;
 4, 16, 25, 28, 31 - მაცივრები; 10, 11, 23, 26, 29 - თბოცვლადები; 5, 17 - არისკარბონები წარმადგენები;
 6 - მთავარი დამუშავების, 18, 19 - ამორტიზაციის სვეტები

პირველი სვეტი შედგება 29 სარკველიანი თეფშისაგან. მასში წნევაა 0,4-0,5 მპა, ტემპერატურა სვეტის ზევით 120-140°C-ია, ხოლო ქვედა ნაწილში – 240-260°C. სვეტის ზედა ნაწილიდან გამოიყოფა მსუბუქი ბენზინი (დს. – 140°C)-მდე, რომლის ნაწილი ბრუნდება მორწყვაზე სვეტში, ხოლო საბალანსო რაოდენობა გაიყვანება რეზერვუარში. სვეტის ძირიდან გამოყოფილი „ნახევარმაზუთი“ ღუმელში ცხელდება 340-355°C-მდე და ტუმბოთი მიეწოდება ძირითად სარექტიფიკაციო მეორე სვეტის შუაში, ნაწილი კი უბრუნდება პირველი სვეტის ძირს გამაცხელებლად. მეორე სვეტში 0,15-0,2 მპა წნევაა, მის ზედა ნაწილში ტემპერატურა – 120-130°C, ხოლო ქვედა ნაწილში – 340-350°C, ძირითადი სვეტი შედგება 43 ა-უბრი თეფშისაგან, გამოორთქლის სვეტები – ა-უბრი და თავფაქიანი თეფშებისაგან.

მეორე სვეტის ზედა თეფშიდან მიღებული პროდუქტი მძიმე ბენზინის ფრაქციას (140-180°C-იანი). ბენზინის ორთქლი წყლის ორთქლთან ერთად კონდენსირდება კონდენსატორ-მაცივარში. მათი დაყოფა ხდება აირსეპარატორში და წყალგამყოფში. მიღებული მძიმე ბენზინის ნაწილი მიდის მეორე სვეტის მორწყვაზე, საბალანსო რაოდენობა კი ერევა პირველი სვეტიდან გამოსულ მსუბუქ ბენზინს და მიეწოდება ბენზინის მეორეული გამოხდის დანადგარს, რომელიც შეიძლება იყოს ცალკე ან მიერთებული ატმოსფერულ ან ვაკუუმურ დანადგართან.

მეორე სვეტიდან, გარდა ბენზინის ფრაქციისა, მიიღება ნავთის ფრაქცია 140-240°C ან 140-220°C და ღიზელის საწვავი 240-360 ან 220-350°, რომელიც შეიძლება დაიყოს მსუბუქ და მძიმე ფრაქციებად. მსუბუქი ღიზელის ნარევი ნავთის ფრაქციასთან თვითმფრინავების საწვავი TC-1-ია; ფრაქციები მიიღება გამოორთქლის სვეტების გავლით. გამოსული ფრაქციები ცალკ-ცალკე გაივლის თბომცვლელებს, პაერისა და წყლის მაცივრებს და მიეწოდება შესაბამის რეზერვუარებს. როგორც მეორე სვეტს, ისე გამოორთქლის სვეტებს ძირში მიეწოდება გადახურებული წყლის ორთქლი.

ნავთობის ორთქლის მძიმე ნაწილი, რომელიც კონდენსირდება ყოველ თეფშზე, ეშვება ძირს და ნარჩენი მდიდრდება მაღალმოდულარე კომპონენტებით. მიღებული თხევადი ნარჩენის – მაზუთის ხარისხი განისაზღვრება მასში არსებული ნათელი ფრაქციის რაოდენობით, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 4-6%-ს მაზუტზე გადათვლით.

მეორე სვეტის ძირიდან მიღებულ ნარჩენს მაზუთი ეწოდება. მისი გამოხდა ზორციელდება გაიშვიათების პირობებში ატმოსფერულ-ვაკუუმურ დანადგარზე 400°C და უფრო მეტ ტემპერატურაზე გაცხელებით, რაც იწვევს მაღალმოლეკულური ნახშირწყალბადებისა და ფისოვანი ნაერთების დაშლას დაბალმოლეკულური ნახშირწყალბადების, აირების და კოქსის წარმოქმნით. ცხადია, ასეთი მაღალი ტემპერატურის პირობებში არ მიიღება არც ზეთები და არც კატალიზური კრეკინგისთვის საჭირო ნედლეული.

მაზუთის დაშლის თავიდან აცილების მიზნით, მისი გამოზღვისათვის საჭიროა ნარჩენი წნევა 20-40 მმ ვერცხლისწყლის სვეტისა და აგრეთვე ნავთობის ორთქლის პარციალური წნევის შემცირება. გამოზღვის ასეთი სქემა ხორციელდება ვაკუუმურ სვეტში. ვაკუუმში იქმნება სპეციალური აპარატებით. ბარომეტრული ან ზედაპირული კონდენსატორითა და მრავალსაფეხურიანი ევექტორული სისტემით.

მაზუთის გამოზღვისას ვაკუუმის ქვეშ პრაქტიკულად გამოირიცხება მაზუთის დაშლა და შედეგად მიიღება მიზნობრივი პროდუქტები.

საერთოდ, ვაკუუმ-დანადგარები კომპლექსშია ატმოსფერული გამოზღვის დანადგართან.

(ნავთობპროდუქტების ასორტიმენტსა და რაოდენობაზე მოთხოვნის დამყარების მიზნით უზრუნველყოფს დანადგარის მაღალ ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს და ამცირებს ნავთობპროდუქტების თვითღირებულებას.)

2.4. მაზუთის ვაკუუმური გამოზღვა (რექტიფიკაცია)

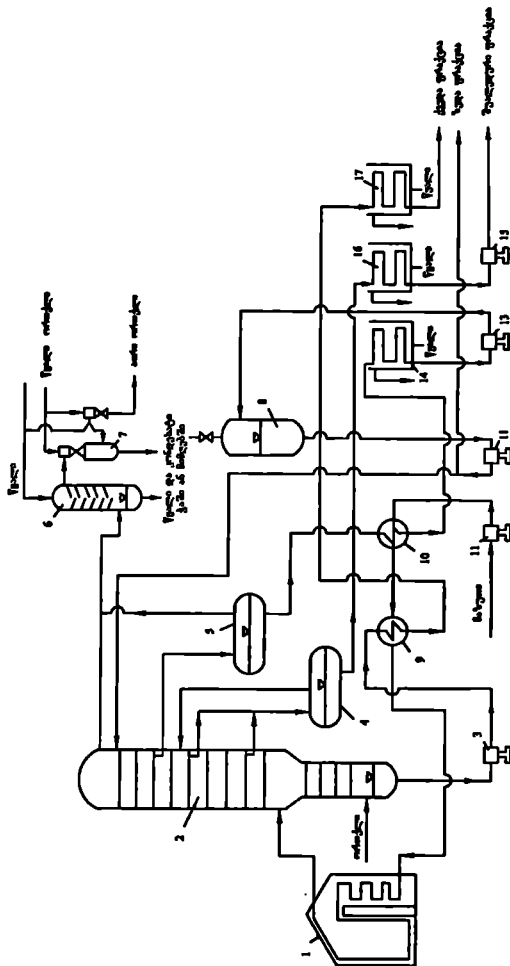
(მაზუთის ვაკუუმური გამოზღვის თანამედროვე დანადგარების ორი სქემა არსებობს: 1) მაზუთის გამოზღვა ერთჯერადი აორთქლებით ერთ ვაკუუმურ სვეტში ფართო ფრაქციის მისაღებად; 2) ორი ან მრავალჯერადი გამოზღვით ვაკუუმის ქვეშ რამდენიმე სვეტიდან სხვადასხვა ტიპის ზეთების მიღება) (ნახ. 2.4).

ზეთის ფართო ფრაქცია ($350-500^{\circ}\text{C}$) გამოიყვანება პირველადი ვაკუუმური სვეტის მე-6-7 თეფშიდან და თბომცვლელის გავლით (სადაც იგი აცხელებს ნედლ ნავთობს) მიეწოდება დანადგარს შემდგომი გადაშუშავებისათვის, რაც გულისხმობს სხვადასხვა ზეთის ფრაქციების მიღებას. თბომცვლელში წინასწარი გაცხელებით ფართო ფრაქცია მიეწოდება მეორე ვაკუუმ-სვეტს, სადაც ზდება ზეთის ფართო ფრაქციის ზუსტი დაყოფა ვიწრო ფრაქციებად $370-420^{\circ}$, $420-450^{\circ}$ და $450-520^{\circ}\text{C}$ -ზე.

როგორც პირველ, ისე მეორე ვაკუუმ-სვეტებს ქვედა ნაწილში მიეწოდება გადაზურებული ორთქლი, სითბოს შენარჩუნება ზდება სვეტების ძირიდან გამოყოფილი მძიმე ფრაქციის ცირკულაციით ღუმელთან.

დაუკონდენსირებული ორთქლი და დაშლის პროდუქტები ორივე სვეტიდან გაიწოვება ვაკუუმშემქმნელი სისტემით ღუმელში.

ზეთების ვიწრო ფრაქციების მისაღებად და სითბოს ეფექტური გამოყენებისათვის დიდი უპირატესობა ენიჭება ორზე მეტსვეტიან ვაკუუმგამოზღვას.



ნახ. 2.4. მზულის გაქურბი გამბის დამდგრის ტექნოლოგია სქმა:

- 1 - მლაკო ლუბი; 2 - გაქურბი სქმა; 3, 11, 12, 13, 15 - ტუბი; 4, 5 - პუმბი; 6 - მარბერული კონდენსირი; 7 - რისაგებთან გაქურბი რთილბმბორული სისქმა; 8 - გერბი; 9, 10 - მბმბლბლბი; 14, 16, 17 - მბმბლბლბი

ვაკუუმური სვეტი შედგება 18 სხვადასხვა ტიპის თევზისაგან (სარტკლიანი, S-ის და ცხურას მაგარი და ჭავლური). სვეტში ნარჩენი წნევა 8-10 კპა. სვეტს ქვევიდან მიეწოდება გადახურებული ორთქლი 1-1,5%-ის რაოდენობით მავთუზე გადათვლით. დამატებითი სითბოს მიწოდება წარმოებს მძიმე ზეთის 420-500°C-იანი ფრაქციის ცირკულირებით გამაცხელებელ ლუმელთან.

ამრიგად, (ატმოსფერულ-ვაკუუმური გამოსვლით მიიღება პროპანისა და ბუთანისაგან შემდგარი აირი. პირდაპირი გამოსვლის ტენზიონი (35-180°C), რომელიც ძირითადად იზომერიზაციის, რიფორმინგისა და პიროლიზის პროცესების ნელდელა; კეროსინის ფრაქცია (120-140°C) რეაქტიული ძრავას საწვავია; დიზელის ფრაქცია (180-360°C), რომელიც მოითხოვს განვლირებას რეაქტიფიკაციის შემდეგ. დასასრულ, მიიღება მავთუი ნარჩენის სახით. მავთუიდან იწარმოება კატალიზური ან პიდროკრეკინგის, ან ბავური ზეთების მისარევი ნელდელუი.

ვაკუუმური გამოსვლის ნარჩენია გუდრონი, რომელიც გამოიყენება ბიტუმებისა და აგრეთვე დეასფალტიზაციის პროდუქტების მისაღებად.)

2.5. აპარატები

სარეაქტიფიკაციო სვეტებში ერთჯერადი აორთქლებით მიიღება დაბალმდლარე კომპონენტებით (დმკ) გამდიდრებული ორთქლი და სითხე, რომელიც უფრო მეტი რაოდენობით (%-ად) შეიცავს მაღალმდლარე კომპონენტებს (მმკ), ვიდრე საწყისი ნელდელუი. უნდა აღინიშნოს, რომ ერთჯერადი აორთქლებით ზუსტი დაყოფა არ ხერხდება. იგი მიიღწევა რეაქტიფიკაციის პროცესით.) ამ დროს ხდება მრავალჯერადი კონტაქტირება ორთქლსა და სითხის ფაზებს შორის. მასისა და თბოცვლის ხარჯზე ორთქლის ფაზა მდიდრდება დმკ-ით, სითხე კი-მმკ-ით. ამრიგად, (რეაქტიფიკაციის სიზუსტე დამოკიდებულია შეხების მრავალჯერადობაზე, ფლეგმის რაოდენობასა და მორწყვაზე, რომელიც აღმაველი ორთქლის საპირისპიროდ მოძრაობს.)

რეაქტიფიკაციისათვის ნელდელუი გარკვეული ტემპერატურით და შედგენილობით მიეწოდება სვეტს ქვედა ნაწილში. სვეტში იგი ორთქლდება აირისა და სითხის წარმოქმნით. მათ ერთნაირი ტემპერატურა და წნევა აქვთ, რაც ხელს უწყობს თითოეულ თევზზე ამოსულ ორთქლსა და ჩამოსულ სითხეს (ფლეგმას) შორის კონტაქტისა და წონასწორობის დამყარებას. კონტაქტის შედეგად იცვლება აირისა და სითხის შედგენილობა, კერძოდ, ორთქლი (აირი) მდიდრდება დმკ-ით, სითხე კი - მმკ-ით. სვეტის ყოველ თევზზე ხორციელდება ანალოგიური პროცესი. იგი გრძელდება მანამ, სანამ ბოლო თევზზე ორთქლი არ მიადწევს წინასწარ გამიზნულ შედგენილობას, ხოლო მაღალმოლეკულური ნივთიერებებით გამდიდრებული სითხე არ ჩაეშვება ქვევით.

სარექტიფიკაციო სვეტის ზედა თეფშიდან აღებულ პროდუქტს ეწოდება რექტიფიკატი ანუ დისტილატი, ხოლო სვეტის ქვევიდან გამოტანილ პროდუქტს – ნარჩენი.

სვეტში ნედლეულის შეყვანის ადგილის ზედა სივრცეს ეწოდება საკონცენტრაციო, ხოლო ქვედა სივრცეს – გამოორთქელის ანუ გამოსახდელი. ზედა ნაწილიდან ხდება სითბოს ართმევა, ხოლო ქვედა ნაწილში – სითბოს მიწოდება. შედეგად ზედა ნაწილში ადგილი აქვს მაღალ-მოლეკულური ნაერთების კონდენსაციას (ფლეგმის წარმოქმნას), ხოლო ქვედა ნაწილში გაცხელებული ნედლეულის აორთქლებას.

სვეტი ორი სახისაა: მარტივი, რომელიც ნედლეულს ორ ნაწილად ყოფს (დისტილატად და ნარჩენად) და რთული, რომელიც იგივე ნედლეულიდან სამ და მეტ დისტილატს იძლევა. ასეთ შემთხვევაში სვეტიდან პროდუქტის გამოყვანა ხდება გვერდითი გამოანაზადის სახით.

თანამედროვე ატმოსფერულ და ატმოსფერულ-ვაკუუმური გამოხდის დანადგარებზე სარექტიფიკაციო სვეტის გარდა საჭიროა წინასწარი ამოორთქლებელი ან მსუბუქი ბენზინის (ნაფტას) მოსაცილებელი სვეტი, გამოორთქელის სვეტები, სტაბილიზატორები, მეორეული გამოხდის სვეტები, აბსორბერ-დესორბერები, ვაკუუმ-სვეტები და სხვ.

სვეტი ფოლადისაგან დამზადებული ვერტიკალურ-ცილინდრული აპარატია (ნახ. 2.5). რექტიფიკაციისთვის საჭიროა შიდა მოწყობილობა – თეფშები. თეფშების რიცხვი ყველა სვეტისთვის სხვადასხვანაირია. იგი იანგარიშება და დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორზე: წინასწარ აუცილებელია ფრაქციების რაოდენობის, რექტიფიკაციის სიზუსტის, მორწყვის ჯერადობისა და ორთქლის მიწოდების სიჩქარის განსაზღვრა.)

სვეტის ზომების დასადგენად საჭიროა აპარატის მწარმოებლობის, ნავთობის ფრაქციული შედგენილობის, თეფშების რიცხვის, სისტემის წნევის, ტემპერატურის, ფლეგმის რიცხვისა და სხვა ფაქტორების ცოდნა. სვეტის ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრი – განივკვეთის ფართობი იანგარიშება ფორმულით

$$S = \frac{V}{W},$$

სადაც V სვეტში აღმაველი ორთქლის მაქსიმალური რაოდენობაა, მ³/წმ; W – სვეტის თავისუფალ განივკვეთში ორთქლის დასაშვები წრიული სიჩქარე, მ/წმ.

ორთქლის მოცულობა

$$V = \left(\frac{G}{M} + \frac{z}{18} \right) = \frac{22,4P}{\pi} = \frac{t + 273}{273},$$

სადაც t — ორთქლის ტემპერატურა, °C; G — ნავთობის ორთქლის ხარჯი, კგ/წმ; Z — წყლის ორთქლის ხარჯი, კგ/წმ; M — ნავთობის ორთქლის მოლეკულური მასა; P — ატმოსფერული წნევა, კპა; π — აბსოლუტური წნევა სვეტში, კპა.

დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ ატმოსფერულ და ატმოსფერულ-ვაკუუმურ (AT) და (ABT) დანადგარებზე ორთქლის სიჩქარე შესაბამისად 0,46-0,84 მ/წმ და 2,5-3,5 მ/წმ-ია, როცა თევშების შორის მანძილია 0,61 მ, ზოლო იქ, სადაც აირებთან გვაქვს საქმე, მაგ., ბენზინის სტაბილიზაციის სვეტში, აირების ფრაქციონირების დროს, თერმული და კატალიზური კრეკინგის სვეტებში და სხვა, ორთქლის სიჩქარე 0,2-0,7 მ/წმ-ია.

სარეკტიფიკაციო სვეტების ძირითადი ელემენტებია სხვადასხვა კონსტრუქციის თევშები: ღარიანი, თაღფაჩიანი, S-ის მაგვარი, სარქვლიანი და სხვ.

ბოლო დროს ყურადღება მიიპყრო ჩანაწობიანმა სვეტებმა თევშების ნაცვლად.

(სარეკტიფიკაციო სვეტის ნორმალურ მუშაობაზე გავლენას ახდენს შემდეგი ძირითადი ფაქტორები: ტემპერატურა, წნევა, ფლეგმის რიცხვი და გამოსახდელ და გამოორთქელის სექციებში მიწოდებული ორთქლის ხარჯი.

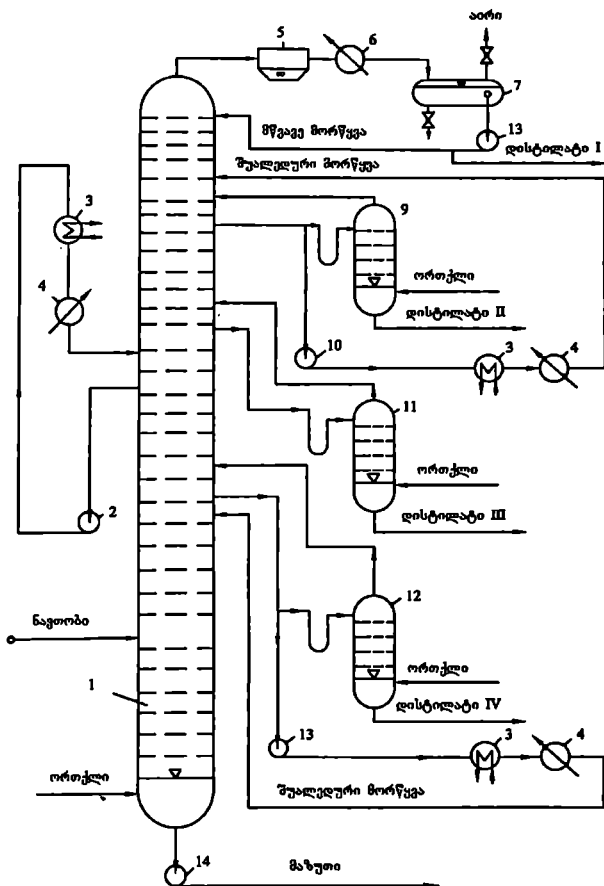
სარეკტიფიკაციო სვეტში ტემპერატურას აკონტროლებენ ნავთობის სვეტში შეყვანის მომენტში და სვეტის ძირიდან მაშუთისა თუ გუდრონის გამოსასვლელებში, აგრეთვე სვეტის ზედა ნაწილში — ორთქლისა და გვერდითი ფრაქციების გამოსასვლელ ხაზებში.

დიდი მნიშვნელობა აქვს სვეტში ნელელულის შეყვანისას ტემპერატურას, რომელიც რეგულირდება მილა ლუმელში. აღნიშნულ წერტილში ტემპერატურის სიზუსტე განსაზღვრავს სრულ ბალანსს მიზნობრივი პროდუქტების გამოსაყვანად.

სვეტის ქვედა ნაწილში ტემპერატურის სიზუსტე განსაზღვრავს მაშუთიდან და გუდრონიდან გამოსაცილებელი ფრაქციების სრულყოფილ გამოყოფას. ტემპერატურის დასაწევად და ერთდროულად ნათელი და ზეთის ფრაქციების სრული გამოორთქელისათვის სვეტის ქვედა ნაწილში მიეწოდება გადახურებული წყლის ორთქლი.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია სვეტებში წნევის სწორი რეგულირება. წნევის მომატება ზელს უწყობს აირადი ნივთიერების (პროპანის, ბუთანის) რეკტიფიკაციას, როცა სვეტის ზედა თევშზე ტემპერატურა 45-55°C-ია. ამ ნივთიერებების კონდენსაცია ხდება არა სპეციალური გამაცივებლებით, არამედ წყლით. ამ შემთხვევაში სვეტში წნევა 0,3-0,4-დან 2,45 მპა-მდეა.)

მთელი რიგი თანამედროვე ატმოსფერული და ატმოსფერულ-ვაკუუმური სვეტები აღჭურვილია სარქვლებიანი და A-ებრი, ცხაურიანი, საცრისებრი თევშებით. მე-4 ცხრილში მოცემულია დანადგარზე თევშების რიცხვი და ტიპები.



ნახ. 2.5. რთული სარეკტიფიკაციო სვეტი:

1 - სვეტი; 2, 8, 10, 13, 14 - ტუმბოები; 3 - თბომცვლელები; 4, 6 - წყლის
 მაციერები; 5 - ჰერის კონსენსატორ-მაციერები; 7 - წყალგამოყოფი და
 მორწყვის მიმღები; 9, 11, 12 - გამორთქლი ამორთქლის სვეტები

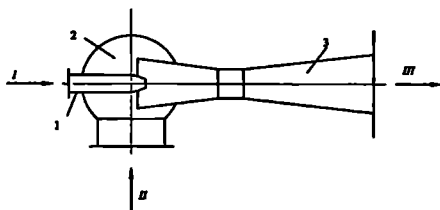
დანადგარზე ვაკუუმი იქმნება 3-5-საფეხურიანი ორთქლეექტორული სისტემით. იგი წარმოადგენს აგრეგატს, რომელშიც თანამიმდევრობით შერეულია რამდენიმე საფეხურიანი ორთქლეექტორი.

ცხრილი 4

სვეტი	თევზების რაოდენობა	თევზის ტიპი
დანადგარი აემ (ატმოსფერულ-ვაკუუმ-მილოვანი)		
წინასწარი ორთქლების ატმოსფერული	28	სარკელიანი სარკელისებრი (ზევით- ორსველიანი, ქვევით-ოთხსველიანი)
ძირითადი ატმოსფერული ვაკუუმური	49 18	სარკელისებრი ზევით-სარკელიანი, 5-ებრი, ქვევით-ცხურიანი,
გამოორთქვლის	4	ჭაღური სარკელიანი
დანადგარი ამ (ატმოსფერული-მილოვანი)		
ატმოსფერული წინასწარი ორთქლებით		
ზედა	22	5-ებრი ცხურა ან (5-ებრი)
ქვედა	5	
ძირითადი		
ზედა	38	5-ებრი
ქვედა	5	იგივე
მეორეული გამოხდა	60	ცხურიანი

ორთქლეექტორულ ვაკუუმ-ტუმბოს შეუძლია სისტემაში შექმნას 0,13 კპა ანუ 1 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის ტოლი ნარჩენი წნევა.

ექსტორი შედგება საქმნის, მიღების კამერის, შემრევი კამერის, ყელის და დიფუზორისაგან (ნახ. 2.6).



ნახ. 2.6. ორთქლჭაღური ეექტორი

I - ზედა ორთქლი ან სითხე, II - გადასაფრთხილებელი პირი, III - ნარევი,

1 - საქმნი, 2 - შემრევი კამერა, 3 - დიფუზორი

ზედა ორთქლი, შედის რა ეექტორის საქმნში, ფართოვდება და მისი წნევა უთანაბრდება მიღების კამერის წნევას. ამ შემთხვევაში ორთქლის წნევის ენერგია გარდაიქმნება მოძრაობის ენერ-

გიად და მისი სიჩქარე ზდება ბგერის გავრცელების სიჩქარეზე მეტი. კამერაში მუშა ორთქლი ტურბულენტური მოძრაობის გამო წარიტაცებს ორთქლიაიროვან ნარევეს აპარატიდან, რის შედეგადაც იქნება ვაკუუმი. დიფუზორში ნარევის სიჩქარე მცირდება და წნევა იზრდება მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, რომლითაც ნარევი გაიტყორცნება კონდენსატორში ან ატმოსფეროში.

((ნავთობის გადამამუშავებელი დანადგარები აღჭურვილია სრულყოფილი ავტომატიზაციით. ქარხნულ დანადგარებზე გამოიყენება ხარისხის მაკონტროლებელი ავტომატური ანალიზატორები. კერძოდ, ნავთობში წყლის და მარილის შემცველობის, ბენზინის, საავიაციო ნავთის, დიზელის საწვავის, ზეთოვანი დისტილატების, ნათელი ნავთობპროდუქტების ფრაქციული გამოხდის ტემპერატურების, ზეთოვანი ფრაქციების სიბლანტის, ჩამდინარე წყლებში პროდუქტების შემცველობის განმსაზღვრელი და სხვა ხარისხის ზოგიერთი ანალიზატორი ჩართულია ავტომატური რეგულირების სქემაში.) მაგ., წყლის ორთქლის მიწოდება ძირითადი და გამოორთქლის სეცტების ძირში ავტომატურად კორექტირდება დიზელის საწვავის ფეთქვის ტემპერატურით. ნარევების შედგენილობის ავტომატური განსაზღვრისა და რეგულირებისათვის გამოიყენება ქრომატოგრაფი.

მაციერებისა და კონდენსატორ-მაციერის სანაცვოდ ფართოდ გამოიყენება ჰაერის მაციერები (ჰვა). რაც ხელს უწყობს წყლის რაოდენობის შემცირებას, წყალმომარაგების ობიექტის, კანალიზაციის, საწმენდი ნაგებობების საწყისი დანახარჯებისა და საექპლუატაციო ხარჯების შემცირებას.

თბოცვლის აპარატების ძირითადი მახასიათებელია თბოცვლის ზედაპირის ფართობის ცოდნა, რაც უფრო დიდია მისი ზედაპირი, აპარატი მით უფრო ეფექტურია. საწარმოო პრაქტიკაში გამოიყენება სხვადასხვა ზედაპირის თბომცველები, დაწყებული 10-დან 1000 მ²-მდე და მეტი. იგი დამოკიდებულია ცხელ და ცივ აგენტებს შორის ტემპერატურულ სხვაობაზე (თბომატარებლების ტემპერატურულ სხვაობაზე), მათი ღინების სიჩქარეზე, თბოცვლის სიხშირესა და თბოგადაცემის კოეფიციენტზე.)

აპარატის თბოცვლის ფართობის გაანგარიშება და, შესაბამისად, თბომცველების რაოდენობის დადგენა შესაძლებლობას იძლევა წარმოების მიერ გამოშვებულ იქნეს განსაზღვრული კონსტრუქციისა და ზომის აპარატები. პირველი უნდა დადგინდეს აპარატის თბური ბალანსი. იგი ინგარიშება ფორმულით

$$Q = G_1(q_{i_1} - q_{i_2})_n = G_2(q_{i_4} - q_{i_3}),$$

სადაც Q სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც გადაეცემა გამაცხელებლისაგან გასაცხელებელ აგენტს და გარემოს, კვჯ; G_1 და G_2 - გამაცხელებლისა და გასაცხელებელი აგენტების რაოდენობა, კვ/სთ; q_{i_1} და q_{i_2} - გამაცხელებელი აგენტის ენთალპია საწყის და საბოლოო ტემპერატურაზე, კვ/კვ. q_{i_3} და q_{i_4} - გასაცხელებელი აგენტის ენთალპია საწყის და საბოლოო ტემპერატურაზე, კვ/კვ; η - სითბოს გამოყენების კოეფიციენტი (0,95-0,97).

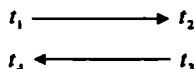
თბური ბალანსის დადგენის შემდეგ შესაძლებელია აღნიშნული თბომცვლელის თბოცვლის ფართობის განგარიშება

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{ს.გ.}} \tau},$$

სადაც F თბომცვლელის თბოცვლის ფართობია, მ²; $Q_{\text{ს.გ.}}$ — გასაცხლებელი აგენტის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობისა და გარემოზე გადაცემული სითბოს ჯამი, კჯ; K — თბოგადაცემის კოეფიციენტი, კჯ/მ²სთ⁰C; $\Delta t_{\text{ს.გ.}}$ — საშუალო ტემპერატურული სხვაობა, ⁰C.

თბოგადაცემის კოეფიციენტი (K) იანგარიშება ან მოიძებნება ცხრილებში.

$\Delta t_{\text{ს.გ.}}$ გასანგარიშებლად, როგორც წესი, განიხილება თბოცვლის სქემა:



სადაც t_1, t_2 ცივი აგენტის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურებია, ⁰C; t_3 და t_4 — ცხელი აგენტის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურები, ⁰C.

საშუალო ტემპერატურული სხვაობა

$$\Delta t_{\text{ს.გ.}} = \frac{\Delta t_{\text{მ.კ.ს.}} - \Delta t_{\text{მ.გ.ს.}}}{2,31g \frac{\Delta t_{\text{მ.კ.ს.}}}{\Delta t_{\text{მ.გ.ს.}}}};$$

სადაც $\Delta t_{\text{მ.გ.ს.}}$ და $\Delta t_{\text{მ.კ.ს.}}$ თბომტარებლებს შორის დიდი და მცირე ტემპერატურული სხვაობებია.

თუ $\frac{\Delta t_{\text{მ.კ.ს.}}}{\Delta t_{\text{მ.გ.ს.}}} \leq 2,3$, მაშინ საშუალო ტემპერატურული სხვაობა იანგარიშება საშუალო

არიტმეტიკულით:

$$\Delta t_{\text{ს.გ.}} = \frac{\Delta t_{\text{მ.კ.ს.}} + \Delta t_{\text{მ.გ.ს.}}}{2}.$$

(\sqrt[3]{ნავთობგადასამუშავებელ ქარხნებში ნედლეულის ძირითად გამაცხლებელ აპარატებს ღუმლები წარმოადგენს. ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია მილა ღუმლების მრავალსახეობა. მილა ღუმლებში ხდება ერთჯერადი აორთქლება, მათ მაღალი თბური ეფექტი აქვთ, საკმაოდ კომპაქტურებია და სასარგებლო მუშაობის მაღალი კოეფიციენტითა და მაღალი თბური მწარმოებლობით ხასიათდება}) ღუმლების მილებში, მცირე დროით გაჩერების გამო, ნედლეული პრაქტიკულად დაუმშლელი რჩება. ამიტომაც ისინი ფართოდ გამოიყენებიან, როგორც ნავთობის პირველად გადამუშავებაში, ისე კატალიზურ კრეკინგსა და რიფორმინგში, პიდროგაწმენდისა და სხვა პროცესებში.

ღუმლები ექსპლუატაციისთვის მოხერხებულია და საწვავის წვის რეჟიმის ავტომატიზაციის საშუალებას იძლევა. \sqrt[3]

მილა ღუმელს ორი სახის გამაცხელებელი კამერა აქვს: რადიანტული და კონვექციური. რადიანტული კამერები ერთმანეთისაგან განცალკევებულია კედლით, რომელშიც მოთავსებულია მილები. რადიანტულ კამერაში იწყის საწვავი. მილები განლაგებულია ეკრანის ზედა და ქვედა ნაწილებში. სითბო გადაეცემა მილებს დამწვარი საწვავის ჩირაღდნის ალის რადიაციით. გამაცალკევებელ კედლებს შუა კონვექციის კამერა, რომელიც მილებში არსებულ პროდუქტს აწვდის სითბოს. ეს მილები უშუალო შეხებაშია წვად აირთან და ცხელდება კონვექციით. მილებში შესული ნედლეული ჯერ შედის საკონვექციო კამერაში და შემდეგ რადიანტულში. რადიანტულ კამერაში ნედლეული იღებს სითბოს 70-80%, ხოლო კონვექციურში 20-25%-ს.

რადიანტული მილები სითბოს იღებს არა მარტო გამოსხივებით, არამედ საკვამლე მილებთან უშუალო შეხებისას, სადაც შედარებით დაბალი ტემპერატურაა. რადიანტული მილების მიერ მიღებული სითბოს 85-90% გამოსხივებით, ხოლო დანარჩენი კონვექციითაა მიღებული.

კონვექციით სითბოგადაცემის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს საკვამლე აირების მოძრაობის სიჩქარე და მილების დიამეტრი. სითბოგადაცემა უფრო მეტია წერილი და ჭადრაკულად განლაგებული მილების შემთხვევაში.

კონვექციური მილები, რომლებიც განლაგებულია კონვექციური კამერის წინა რიგებში, საკვამლე აირების მიმართულებით უფრო მეტ სითბოს იღებენ როგორც კონვექციით, ისე გამოსხივებით. ამიტომ მათში თბოდაძაბულობა რადიანტული მილების თბოდაძაბულობაზე მეტია.

მილა ღუმლის ძირითადი მაჩვენებლებია: ღუმელის სასარგებლო თბური დატვირთვა, გამხურებელი ზედაპირის თბოდაძაბულობა და გამხურებლის სიგრცე; აგრეთვე ღუმლის სასარგებლო მუშაობის კოეფიციენტი. ღუმლის სასარგებლო თბური დატვირთვა მოიხმარება ნედლეულის გასაცხელებლად და წყლის ორთქლის გადამეტსახურებლად, იგი იზომება კვ/სთ ან კვტ-ობით.

მსოფლიოში დღეისათვის მოქმედ ნგკ-ში ღუმლები 10-50-80 მგტ დატვირთვით მუშაობს.

სასარგებლო თბური დატვირთვა გამოითვლება ფორმულით

$$Q_p = G [e q_{i_1}^{\text{რომ}} + (1 + e) q_{i_1}^{\text{სოხ}} - q_{i_1}^{\text{სოხ}}],$$

სადაც G ნედლეულის რაოდენობა, კვ/სთ; e - ნედლეულის ანუ გამოწასადის რაოდენობის წილი, რომელიც ღუმელში ორთქლდება t_2 -ზე გაცხელების დროს; $q_{i_1}^{\text{რომ}}, q_{i_1}^{\text{სოხ}}$ - ნედლეულის ორთქლისა და სითხის ფაზების ენთალპია t_2 ტემპერატურაზე ლუბლიდან გამოსვლისას, კვ/კვ; $q_{i_1}^{\text{სოხ}}$ - თხევადი ნედლეულის ენთალპია t_1 ტემპერატურაზე ლუბლიდან გამოსვლის დროს, კვ/კვ.

გადამეტსახურებელში წყლის ორთქლის გადამეტსახურებაზე დახარჯული სითბო გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$Q_{\text{გაორთ}} = D [x l + C_{\text{წყარით}} (t_4 - t_3)],$$

სადაც D გადასურებული ორთქლის რაოდენობა, კვ/სთ; x - გადამეტსახურებული ორთქლის ნაძის რაოდენობა, ერთეულზე ნაკლები; l - წყლის აორთქლების სითბო ორთქლის წნევის დროს, კვ/კვ;

წვრილი - წყლის ორთქლის კუთრი თბოტევადობა, კჯ/კგ.გრად; $t_4 - t_3$ - წყლის ორთქლის ტემპერატურები გადამტესხურებელში შესვლისას და გამოსვლისას.

გამაცხელებლის ზედაპირის თბოდაცხელობა გამოხატავს თბური ნაკადის სიმკვრივეს, ე.ი. ეს არის სითბოს რაოდენობა, რომელიც გადაეცემა გამაცხელებლის 1 მ²-ის ზედაპირის ფართობიდან დროის ერთეულში, ეტ/მ².

რადიანტული და კონვექციური მიღებისათვის გამახურებლის ზედაპირის თბოდაცხელობა სხვადასხვაა. პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ატმოსფერული გამოხდის ღუმულებისთვის იგი შეადგენს 105-დან 190 ათას კჯ/(მ².სთ); ვაკუუმი გამოხდის ღუმულისათვის კი - 85-125 ათას კჯ/(მ².სთ); ზოგიერთ თანამედროვე ღუმულებში კი იგი 210-250 კჯ/(მ².სთ) აღწევს.

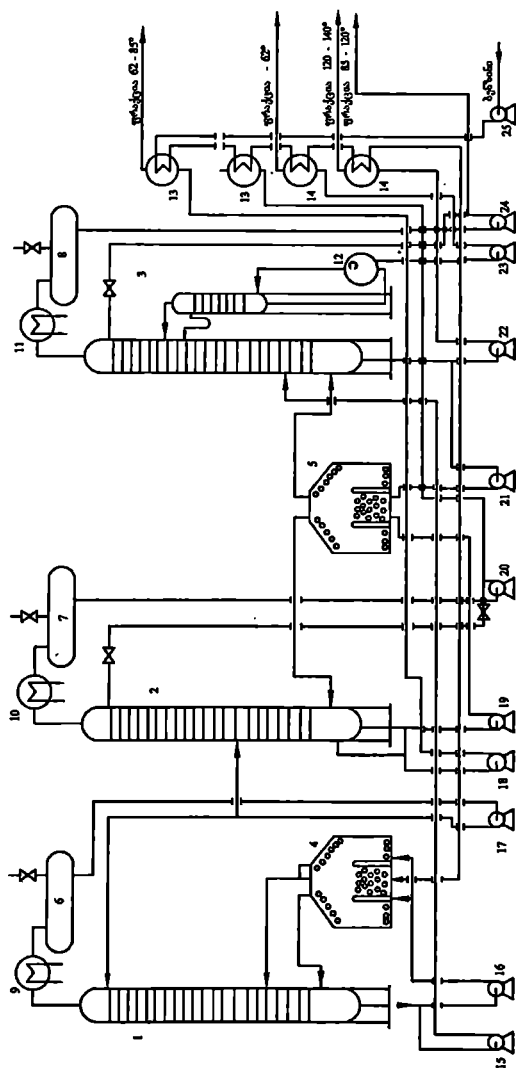
რაც შეეხება მქ კოეფიციენტს, იგი მოიცავს სასარგებლოდ მოხმარებული სითბოს რაოდენობას. ეს უკანასკნელი კი დამოკიდებულია პაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე, მბოლავი აირების ტემპერატურასა და ღუმლის მიღების თბოიზოლაციასზე.

2.6. ბენზინის დისტილატის მეორეული გამოხდის დანადგარი

ბენზინის ფრაქციის მეორეული გამოხდა შეიძლება ჩაითვალოს ცალკე პროცესად ან მიეკუთვნოს AT და ABT დანადგარებს, ჩაითვალოს მათ ნაწილად.

თანამედროვე ნავთობგადასამუშაებელ ქარხნებში ბენზინის ფრაქციის მეორეული გამოხდის დანადგარის მნიშვნელობა ფრაქციების მიღებაა, რომლებიც გამოიყენება როგორც დანამატები კატალიზური რეფორმინგის დროს მაღალოქტანური ბენზინების საწარმოებლად. აღნიშნული პროცესით მიიღება ინდივიდუალური არმატული ნახშირწყალბადებიც - ბენზოლი, ტოლუოლი, ქსილოლები (ნახ.2.7).

ბენზინის დისტილატი წარმოადგენს ფრაქციას, რომლის ღუდილის ტემპერატურული ინტერვალი: საწყისი ტემპერატურიდან 180°C-მდეა. იგი ტუმბოს მეშვეობით გაივლის რამდენიმე თბომცვლელს, შემდეგ ღუმელს და მიეწოდება პირველ სარეაქტიფიკაციო. სვეტს, რომლის ზედა ნაწილში ტემპერატურა 110°C-ია, ხოლო ქვედა ნაწილში - 170°C. სვეტის ზევიდან მიიღება სათა-უო (საწყისი) ფრაქციის (საწყ. $t = 62^\circ$) ორთქლი, რომელიც ცივდება პაერისა და წყლის მაცივრებით. მისი ძირითადი ნაწილი მიეწოდება მეორე სვეტს, სადაც ფრაქციონირდება და მაცივრების გავლით გადაიყვანება დანადგარიდან შესაბამის რეზერვუარში. საწყისი ფრაქციის (საწყ. $t=62^\circ\text{C}$) ორთქლის ნაწილი ბრუნდება პირველ სვეტში მორწყვაზე ფლევმის სახით. მეორე სვეტის ძირიდან გამოსული ნარჩენი მიეწოდება მესამე სვეტს, დაახლოებით შუა ნაწილში. მეორე სვეტის ქვედა ნაწილიდან გამოიყვანება ფრაქცია, ღულ. ტემპერატურით (62-85°C) და თბომცვლელის, პაერისა და წყლის მაცივრების გავლით, მიეწოდება შესაბამის რეზერვუარს. მესამე სვეტის ძირიდან გამოსული ნარჩენი ცირკულირებს სვეტის ქვედა ნაწილში ორთქლის თბომცვლელით.



ნახ. 2.7. ბენზინის დისტილაციის გორაკის დაზღვრის ტექნოლოგიური სქემა
 1,2,3 - სარეცხი სვეტები; 4,5 - ღებები; 9,10,11 - კონდენსატორ-მაციერები; 12 - რიბოილერი;
 13,14 - თბომცვლელი; 15-25 - ტუმბოები

მესამე სვეტის ზედა ნაწილიდან გამოსული ორთქლი კონდენსირდება ჰაერისა და წყლის მაცივრებით და წყალგამყოფის გავლით ნაწილი უბრუნდება მეორე სვეტს მორწყვაზე, ნაწილი კი $85-120^{\circ}\text{C}$ -იან ფრაქციის სახით გაიყვანება დანადგარიდან.

$120-140^{\circ}\text{C}$ -იანი ფრაქციის გამოყოფა ხდება მესამე სვეტის შუა ნაწილიდან გამორთქვლის სვეტის მეშვეობით. ფრაქცია თბომცვლელის, ჰაერისა და წყლის მაცივრების გავლით გაიქაჩება რეზერვუარში. სვეტის ქვევიდან გამოსული მასა ორთქლის თბომცვლელის, წყლისა და ჰაერის მაცივრების გავლით გაიყვანება $140-180^{\circ}\text{C}$ ფრაქციის სახით დანადგარიდან. ნაწილი კი ორთქლის თბომცვლელის გავლით ცირკულირებს სვეტის ქვედა ნაწილში. დანადგარის ბალანსი განისაზღვრება ბენზინში არსებული ეიწრო ფრაქციების რაოდენობით და ზუსტი რექტიფიკაციით. აღნიშნული სქემა ერთერთი ყველაზე მეტად გავრცელებულია.

2.7. ვაკუუმ-დანადგარი ზეთოვანი ფრაქციების მისაღებად

მეორეული ვაკუუმური რექტიფიკაციით ხორციელდება ფართო ფრაქციული შედგენილობის ზეთოვანი დისტილატის დაყოფა სხვადასხვა სიბლანტის მქონე ორ ან რამდენიმე ფრაქციად, ხოლო ზეთის ფრაქციების ხარისხის გასაუმჯობესებლად საჭიროა მეორეული პროცესების ჩატარება: გაუზეთოვნება, ჰიდროგაწმენდა, დეპარაფინიზაცია და სხვ.

აღნიშნული პროცესების ჩატარებით ხდება ზეთების სიბლანტისა და ფეთქვის ტემპერატურის გაზრდა და საერთოდ სტანდარტის მოთხოვნილების შესაბამისობაში მოყვანა.

ზეთების ფართო ფრაქციული შედგენილობის $350-470^{\circ}\text{C}$ დაყოფა მსუბუქ, საშუალო და მძიმე ფრაქციებად ხორციელდება მაღალმდლარე არომატული ნახშირწყალბადებისა და ასფალტენ-ფისოვანი ნივთიერებების მოცილების მიზნით. დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია მე-2.8 ნახ-ზე.

ნედლეული, წინასწარ გაცხელებული თბომცვლელებში 125°C -მდე, მიეწოდება მეორე ვაკუუმსვეტს. საიდანაც მისაღები ზედა და შუალედური ფრაქციები იკრება შესაბამისად ვაკუუმ-მძლვებში. ზედა ფრაქცია ცივდება თბომცვლელსა და მაცივარში და ტუმბოთი გადიქაჩება მორწყვის შემკრებში. აქედან კვლავ ტუმბოთი ამ ფრაქციის ნაწილი მიეწოდება სვეტის ზედა თიფშს მორწყვაზე, ხოლო დანარჩენი ნაწილი გაიქაჩება დანადგარიდან რეზერვუარში. შუალედური ფრაქცია, ასევე ცივდება მაცივარში და ტუმბოთი გაიყვანება დანადგარიდან რეზერვუარში.

დანადგარზე ვაკუუმი იქმნება ორსაფეხურიანი ორთქლნაკადიანი ეექტროითა და ბარომეტრული კონდენსატორით. ეექტროს მიეწოდება $0,8-1,0$ მპა მუშა წყლის ორთქლი. უფრო თანამედროვე ვაკუუმშემქმნელ აპარატებში ბარომეტრული კონდენსატორის ნაცვლად ზედაპირული კონდენსატორი გამოიყენება.

3. თერმოქიმიკული პროცესები

ნავთობის თერმული დამუშავების პროცესები ნავთობის გადამუშავების მეორეული პროცესებია:

- 1) ნავთობის ნარჩენების თერმული კრეკინგი მაღალი წნევის ქვეშ;
- 2) ნავთობის ნარჩენების თერმული კრეკინგი ატმოსფერული წნევის ქვეშ (დაკოქსება);
- 3) აირადი და თხევადი ნედლეულის პიროლიზი.

3.1. თერმული კრეკინგი და ვისბრეკინგი

(მაღალი წნევის ქვეშ მიმდინარე ნავთობის ნარჩენების თერმული კრეკინგის ყველაზე მარტივ პროცესს ვისბრეკინგი წარმოადგენს. ვისბრეკინგი ინგლისური სიტყვაა და ნიშნავს მსუბუქ კრეკინგს, რომლის მიზანია ნავთობპროდუქტების სიბლანტის შემცირება. ვისბრეკინგის დანიშნულებაა გუდრონისა და ნავთობის მძიმე ფრაქციების გარდაქმნით დაბალი სიბლანტისა და გაყინვის ტემპერატურის მქონე საქვაბე საწვავის მიღება.)

(ნავთობის გადამუშავებისას ვისბრეკინგი ყველაზე იაფ პროცესად ითვლება. იგი მიმდინარეობს შერბილებულ პირობებში 450-470°C-ზე, 2-2,5 მპა წნევის ქვეშ. ტემპერატურის აწვევა ამჟამად პროცესს, იწვევს აირისა და ბენზინის გამოსავლის გაზრდას და აგრეთვე კრეკინგ-ნარჩენის სიბლანტის აწევას.)

საწარმოო პროცესის პირობების გამაყვანებით გარდაქმნა იზრდება, ე.ი. სტაბილურდება კრეკინგ-ნარჩენი და ჩქარდება მიღების დაკოქსება. ზოგჯერ კონვერსია სიბლანტის შემცირებისა და მიხედვით 20%-საც აღწევს. ეს ხდება ისეთ შემთხვევაში, როცა ვისბრეკინგის ნარჩენი ნავთობ-გადასამუშავებელ ქარხანაში იძენს საექსპორტო მნიშვნელობას. მას იყენებენ, როგორც ნედლეულს, კოქსის, ბიტუმის და სხვათა მისაღებად.

ნავთობის ნარჩენები კოლოიდური სისტემებია, რომლებშიც დისპერსიული ფაზა შედგება მიცელების, ასოცირებული მაღალმოლეკულური ნახშირწყალბადების და პეტეროციკლური ნაერთებისაგან. მიცელა შედგება ასფალტენების ბირთვისაგან, მასზე აღსორბირებული მაღალმოლეკულური არომატული ნახშირწყალბადებით. მიცელა ფიზიკურ წონასწორობაშია ნახშირწყალბადოვან დისპერსიულ არეში. წონასწორობა დაირღვევა სისტემაში წყალბადით მდიდარი ნახშირწყალბადების ან ჟანგბადშემცველი ორგანული ნაერთების (საირტი, მჟავა) შეტანით ან ტემპერატურის გაზრდით.

ტემპერატურის გავლენით მიმდინარეობს ორი ტიპის რეაქცია: თვით კრეკინგი – დახლეჩა დაბალმოლეკულურ ნახშირწყალბადებად და, პირიქით, გამსხვილება პოლიმერიზაციისა და პოლიკონდენსაციის ზარჯზე.

ნახშირწყალბადების თერმული მდგრადობა მცირდება შემდეგი რიგით: ნ-პარაფინები, ი-პარაფინები, ციკლოპარაფინები, არენები, ნაფთენურ-არომატული, პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები.

ამ რიგს განსაზღვრავს აქტივაციის ენერგია ანუ ის ჭარბი ენერგია, რომელიც აუცილებელია მიენიჭოს მოლეკულას რეაქციის ჩასატარებლად, თერმული კრეკინგის დროს აქტივაციის ენერგია 210-250 კჯ/მოლ-ია.

პარაფინების თერმული კრეკინგის დროს ერთსა და იმავე ტემპერატურაზე 425°C წრფივი დამოკიდებულებაა პარაფინში არსებულ ნახშირბადის ატომების რაოდენობასა და კრეკინგის რეაქციის სიჭარბის კონსტანტას შორის. პარაფინის მოლეკულური მასის ზრდით მისი თერმული სტაბილურობა მცირდება. ნაფთენური და არომატული ნახშირწყალბადები გრძელი გვერდითი ჯაჭვით განიციდან კრეკინგს ისე, რომ გვერდითი ჯაჭვის სიგრძე მეთილამდე და ეთილამდე დადის. ნაფთენური ბირთვის გახსნა ხდება 490°C -ზე ზევით. წარმოებს აგრეთვე არომატიზაცია ნაფთენების დეჰიდრირების ხარჯზე.

ჰეტერონატებში თერმული კრეკინგის დროს უფრო ადვილად C-S, C-N, C-O და ა.შ. ბმების გაწყვეტა ხდება. ფისები და ასფალტენები კოქსის წარმოქმნილი ძირითადი კომპონენტებია.

მეორეული რეაქციებით წარმოქმნილი კოქსი უფრო მაღალი აქტივაციის ენერგიის მქონეა – 251-377 კჯ/მოლი.

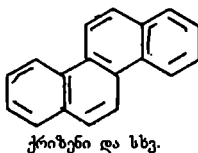
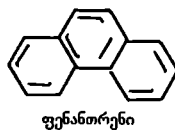
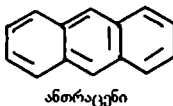
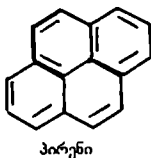
კონვერსიის გაძლიერებით ვისბრეკინგის ნარჩენი კლებულობს, ხოლო მისი დაკოქსვა და მასში ასფალტენების შემცველობა მატულობს. გარდა ამისა, მიღებულ პროდუქტში იზრდება უჯერი და არომატული ნახშირწყალბადების რაოდენობა.

კრეკინგის სიღრმის გაზრდით კრეკინგ-ნარჩენის სიბლანტე ექსტრემალურად იცვლება. თავიდან ინტენსიურად ეცემა, უფრო ხშირად კომპაქტური მოძრავი მეორეული ასფალტენების წარმოქმნით (მათ მოლეკულური მასაც ნაკლები აქვთ). შემდგომში კი კარბენებისა და კარბოიდების წარმოქმნით სიბლანტე იზრდება.

(პრაქტიკული გამოცდილება და დაკვირვება ნათელყოფს, რომ ვისბრეკინგის პროცესში დისტილაციური ფრაქციების გამოსავალი და ნარჩენის სიბლანტის შემცირება დამოკიდებულია კონვერსიის სიღრმეზე.)

თუ ნედლეული დიდი რაოდენობით შეიცავს ასფალტენებსა და პარაფინებს, მისგან მიიღება კოქსი და არასტაბილური საწვავი, მიუხედავად იმისა თუ როგორ პირობებში ჩატარდება ვისბრეკინგი. ამ დროს ადვილი აქვს გამოყოფილი აირების რაოდენობის გაზრდას. შიშველბირთვიანი არომატული ნახშირწყალბადები მაღალი ტემპერატურის გავლენით წყალბადის გამოყოფის ხარჯზე კონდენსირდება, კერძოდ, 2 გ/მოლი ბენზოლიდან მიიღება დიფენილი ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-C}_6\text{H}_5$).

დიფენილთან ერთად წარმოიქმნება როგორც ზაზობრივი, ისე ანგულარული აგებულების პოლიფენილები; აგრეთვე ფისოვანი ნივთიერებები და კოქსი. ბენზოლის ანალოგიურად მოქმედებს ნაფთალინიც და წარმოქმნის პოლიფენილებს, ფისოვან ნივთიერებებს და კოქსს, ხოლო კრეკინგის დროს კონდენსირებულობითიან ნახშირწყალბადებს:



ალკილარომატული ნახშირწყალბადების გვერდითი ჯაჭვის მოხლეჩა და ნაწილობრივ კონდენსაცია მიმდინარეობს უფრო სწრაფად, ვიდრე ჩაუნაცკლებელი არენების.

აღნიშნული ალკილარომატული ნახშირწყალბადები, ფისები და ასფალტენები კოქსის მისაღები ძირითადი ნედლეულია.

(თერმულ კრეკინგზე მოქმედებს მთელი რიგი ფაქტორები: ტემპერატურა, წნევა, დრო და ა.შ.

თერმული ფაქტორი განიხილება როგორც დახლეჩის რეაქციის დამაჩქარებელი. ტემპერატურის აწევა დახლეჩის რეაქციის სიჩქარეს ზრდის. ამიტომ, რაც მაღალია ტემპერატურა, მით მეტია დაშლის, დახლეჩის პროდუქტები – აირები, ბენზინი და სხვა მსუბუქი ნახშირწყალბადები.

ვანტ-ჰოფის კანონის თანახმად, ქიმიური რეაქციის სიჩქარე ორჯერ იზრდება ტემპერატურის 10°C -ით აწევისას, რომელიც სრულ შესაბამისობაშია თერმულ კრეკინგთან. გრადუსების იმ რიცხვს, რომლებიც საჭიროა რეაქციის სიჩქარის გასაორკეცებლად, ეწოდება რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული გრადიენტი.

თერმული კრეკინგის ჩატარებისას მნიშვნელობა აქვს სარეაქციო ზონაში კონტაქტის დროს. სარეაქციო ზონაში ნედლეულის დიდი ხნით გაჩერება იწვევს ღრმა გარდაქმნას, კოქსის დიდი რაოდენობით წარმოქმნას და ამ უკანასკნელით მიღების დაფარვას. ამიტომ სარეაქციო არეში პროდუქციის გაჩერების დრო დაყვანილია მინიმუმამდე, 1,5-2 წუთამდე. ნედლეულის დასაშლელად გარკვეულ დონემდე ზრდიან სარეაქციო არეში ყოფნის ხანგრძლივობას სპეციალურ კამერაში, რომელსაც სოკინგ-სექციას უწოდებენ.

თერმოკრეკინგი მიმდინარეობს შედარებით მაღალ წნევაზე, 2-4 მპა-ზე, რათა შემცირდეს სარეაქციო მოცულობა და შესაძლებელი გახდეს ნედლეულის განსაზღვრული დროით დაყოვნება. გარდა ამისა, წნევა გარკვეულად მოქმედებს რეაქციის მსვლელობაზე, მიმართულებასა და რეაქციის სიჩქარეზე. თუ პროცესი ტარდება შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ($420-470^{\circ}\text{C}$), წნევას დიდი გავლენა არა აქვს. მაგრამ წნევის ფუნქცია მაღლდება, თუ წარმოიქმნება აირი ან იგი მთლიანად ორთქლის ფაზაში გადავა. იზრდება მეორეული რეაქტივების სიჩქარე (ე.ი. პოლიმერიზაციის, ციკლიზაციის, ალკილირების, ჰიდრირებისა და სხვ.). წნევის გაზრდა ამცირებს აირად ნივთიერებებს და ზრდის კონდენსაციის პროდუქტებს.

თერმული კრეკინგის დროს რეაქტიები მიმდინარეობს თბური ეფექტით. გახლეჩის რეაქციაში ენდოთერმულია, ხოლო კონდენსაციის პროცესები ეგზოთერმული. ჯამური თბური ეფექტი განისაზღვრება აღნიშნულთაგან რომელიმე რეაქციის სიჭარბით. საერთო ჯამში თერმოკრეკინგის თბური ეფექტი უარყოფითია. სითბო იხარჯება არა მარტო ნედლეულის გაცხელებაზე არამედ თვით რეაქციაზეც. მაშუთის კრეკინგის დროს თბური ეფექტი 1250-1670 კჯ/კგ-ია ბენზინზე, ხოლო ვისბრეკინგის დროს 117-234 კჯ/კგ ნედლეულზე (მძიმე ნარჩენები).

ვისბრეკინგზე მოქმედებს კოქსის რაოდენობა, რომელიც ილექება მილვებში და იწვევს მათ ზედმეტად გადახურებას; აგრეთვე რეცირკულაცია – გარდაუქმნელი ნაწილის პროცესში დაბრუნება.

თხევადი მასის თერმოკრეკინგის დროს ტემპერატურის აწევით ბენზინის რაოდენობა მატულობს და მაქსიმუმს აღწევს. შემდგომი ტემპერატურის გაზრდით ბენზინის რაოდენობა კლებულობს, ვინაიდან ადგილი აქვს კოქსისა და აირის დიდი რაოდენობით წარმოქმნას. ბენზინის მაქსიმალური რაოდენობა 50%-ს აღწევს, ხოლო მძიმე ფრაქციების კრეკინგის დროს ბენზინის გამოსავალი, აღნიშნულ მონაცემთან შედარებით, მნიშვნელოვნად დაბალია.

(ვისბრეკინგის ძირითადი ნედლეული გუდრონია, შესაძლებელია მძიმე ნავთობის, მაშუთის და სხვა ნარჩენების გადამუშავებაც.) იგი უნდა პასუხობდეს შემდეგ მარკენებებს (ცხრ.5).

ცხრილი 5

მარკენებები	ატმოსფერული სუეტის ნარჩენები	ვაკუუმიური, სუეტის ნარჩენი
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ ³	946,8	1028,9
გამყარების ტემპერატურა °C	10	50
კინემატიკური სიბლანტე, მმ ² /წმ		
50°C	175	1900
100°C	20	—
პროდუქტების გამოსავალი, % აირი		
არასტაბილური ბენზინი	2,5	2,7
დუღილის ბოლო – 175°C	7,5	8,1
ნარჩენები >177-350°C	90,0	90,0
ნარჩენის დახასიათება:		
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ ³	923,8	991,2
გამყარების ტემპერატურა, °C	4,4	40,6
კინემატიკური სიბლანტე, მმ ² /წმ,		
100°C	10	38,6

(ვისბრეკინგს ატარებენ უპირატესად საჭავე საწვავის მისაღებად, რომელიც, ნედლეულთან შედარებით, შემცირებული სიბლანტის მქონეა (ვარიანტი I) ან გაზრდილი რაოდენობით გაზოილის წარმოების მიზნით, რომელიც წარმოადგენს ჰიდროკრეკინგისა და კატალიზური კრეკინგის ნედლეულს (ვარიანტი II)). კორივე ვარიანტის დროს გვერდითი მსუბუქი პროდუქტები გაზები და ბენზინის ფრაქციებია, რომელთა გამოსავალი, ჩვეულებრივ, არ აღემატება 3 - 8% (მას.) ნედლეულზე გადაანგარიშებით. პროცესის ჩატარებისას უფრო მაკრ პირობებში მიიღება არასტაბილური საწვავი.

I ვარიანტით ვისბრეკინგის ჩატარებისას დამახასიათებელია შემდეგი ფაქტორები:

ბენზინის გარდა, ყველა სხვა თხევადი ფრაქციის შენარჩუნება პროდუქტის - ვისბრეკინგ-მაზუთის სახით. იგი ხასიათდება უფრო დაბალი სიბლანტით, დუღილისა და გაყინვის ტემპერატურით, ვიდრე საწყისი ნედლეული;

ვისბრეკინგ-მაზუთის მაღალი გამოსავლით (90-93% მას. ნედლეულის მიმართ).

ვისბრეკინგის II ვარიანტით ჩასატარებლად დანადგარს ემატება ვაკუუმური სექცია ვაკუუმური გაზოილის გამოსაყოფად. პროცესის შედეგად ვაკუუმური გაზოილის პროცენტული შემცველობა, ნედლეულზე გაანგარიშებით, იზრდება 25-40%-ით (მოც.).

ზოგიერთ ქარხნებში II ვარიანტით მიღებული მძიმე ნარჩენის ნაწილი ვაკუუმური სვეტის ძირითადი პროდუქტია, გამოიყენება, როგორც საწვავი, იმავე ქარხანაში, ზოლო ნაჭარბი, დაბალსიბლანტისანი პროდუქტი, მაგ., კატალიზური გაზოილი განზავების შემდეგ, მიემართება სასაქონლო მაზუთის რეზერვუარში.

გუდრონის ვისბრეკინგის პროცესის პირობებია: ტემპ. 460-500°C, წნევა 1,4-3,5 მპა. სარეაქციო ზონაში ნედლეულის ყოფნის ხანგრძლივობა განისაზღვრება სიჩქარის პირველი რიგის განტოლების საშუალებით.

ვისბრეკინგის ბენზინის ფრაქციის ოქტანური რიცხვი 58-დან 68-მდე მერყეობს (ძრავული მუთლით). გოგირდის შემცველობა ბენზინის და ნავთის ფრაქციებში მნიშვნელოვნად დაბალია, ვიდრე ნედლეულში; მაგრამ ეს ფრაქციები, ჩვეულებრივ, მაინც საჭიროებს გასუფთავებას. მაგ., მაზუთი, რომელიც ექვემდებარება ვისბრეკინგს (მოლ. მასა 407, სიმკვრივე 940 კგ/მ³; გოგირდის შემცველობა - 1,81% (მას.), კოქსი - 5,0%). საქართველოს ყველა ნავთობი ვისბრეკინგს ექვემდებარება, ვინაიდან ისინი მცირეგოგირდიანებია 0,2 მას. %.

ვისბრეკინგის დანადგარი რეაქციული კამერით მოცემულია 3.1 ნახაზზე. ცხელი მაზუთი ატმოსფერული ნავთობგამოსახლევი დანადგარიდან, ტუმბოთი მიეწოდება ღუმლის კლანკილას. ღუმლიდან გამოსვლისას ნედლეული ექვემდებარება ვისბრეკინგს სარეაქციო კამერაში ანუ რეაქტორში, იგი მუშაობს დაახლოებით 1,7 მპა წნევის ქვეშ. მიღებული პროდუქტების ნარევი, რედუქციული სარქლის გავლით მიიმართება შემდგომში დამაფრაქციონირებელ სვეტში. მასში შესვლამდე ნარევი ცივდება თბომცვლეულში ცივი გაზოილის გატარებით, დანარჩენი ნაწილი

გაცივებული გაზოილის სახით (რეცირკულატი) ბრუნდება უკან სვეტის შუა ზონაში. გაზოილის ბალანსური რაოდენობა გაიყვანება დანადგარიდან მაცივრის გავლით. კოლონის ზევიდან გამოსული ბენზინის ორთქლის კონდენსირება და აირის გაცივება ხდება ჰაერის მაცივრებით. სეპარატორში მათი გაყოფის პროდუქტის კონდენსატის, ე.ი. ბენზინის ნაწილი მიეწოდება სვეტის ზედა თევშზე მოსარწყავად, დანარჩენი რაოდენობა კი გაიყვანება დანადგარიდან.

საზღვარგარეთ, მაგალითად, აშშ-ში თერბული პროცესების საერთო მწარმოებლობა შეადგენს 2 მლნ.ბარ./დღ. იქ ძირითადად ვისბრეკინგი და დაკოქსება წარმოებს. მათი მწარმოებელი ფირმებია „ლუ-მუს-კრესტი“ და „იუოპი“. პროცესი მრავალფეროვანი თერბული პროცესია. რეაქტორი მიმდინარეობს თავისუფალ რადიკალური მექანიზმით. მათ შორის სხვაობა ის არის, რომ „იუოპის“ დანადგარზე გაცხელება და კრეკინგი ხდება ლუმლის მილებში, ხოლო „ლუმუს-კრესტის“ ფირმის დანადგარზე ნედლეული ცხელდება ლუმელში და კრეკინგი მიმდინარეობს რეაქტორში. ეს უკანასკნელი 1,5-ჯერ ნაკლები საწვავისა და ორთქლის დახარჯვის საშუალებას იძლევა, აგრეთვე მიიღება უფრო მაღალი სიბლანტის ნარჩენი. „ლუმუს-კრესტის“ ფირმის სქემა წარმოდგენილია 3.2 ნახ-ზე.

3.2. მაზუთისა და გუდრონის დესტრუქციული გამოხდის

დანადგარები

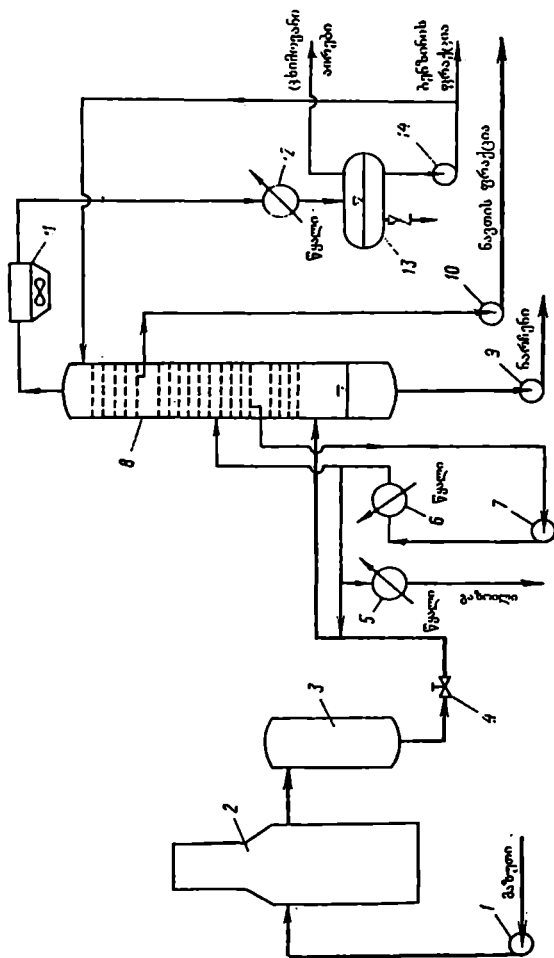
მაზუთის დესტრუქციული გამოხდა წარმოებს გაზოილის ფრაქციის რესურსის გასაზრდელად, რომელიც, თავის მხრივ კატალიზური კრეკინგის ნედლეულია. პროცესი მნიშვნელოვანია ნედლეულის თერბული დაშლის პროდუქტების ფარდობაში ფისოვან ნარჩენთან ამოორთქლებელში. ლუმლის კლანკილა მილებში ძირითადად წარმოიქმნება ბენზინისა და ნავთის ფრაქციები, ხოლო გაზოილის ფრაქტია – ამოორთქლებელში, რომელიც შედარებით ზომიერი ($420-425^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურის და ჭარბი წნევის პირობებში მუშაობს. ნედლეულის დაყოვნების ხანგრძლივობა ამოორთქლებელში დაახლოებით 1,5 სთ-ია, ლუმლიდან გამოსვლისას კი ტემპერატურა $460-474^{\circ}\text{C}$ -ის ტოლია.

ნედლეულის ერთჯერადი გატარების უწყვეტი მოქმედების პირობებში წარმოქმნილი ცხიმოვანი აირები გამოეყოფა არასტაბილურ ბენზინს. ბენზინის ნაწილი მიეწოდება სვეტის ზედა თევშს მომრწყველის სახით. დანარჩენი რაოდენობა გაიყვანება დანადგარიდან (ნახ. 3.1 და 3.2).

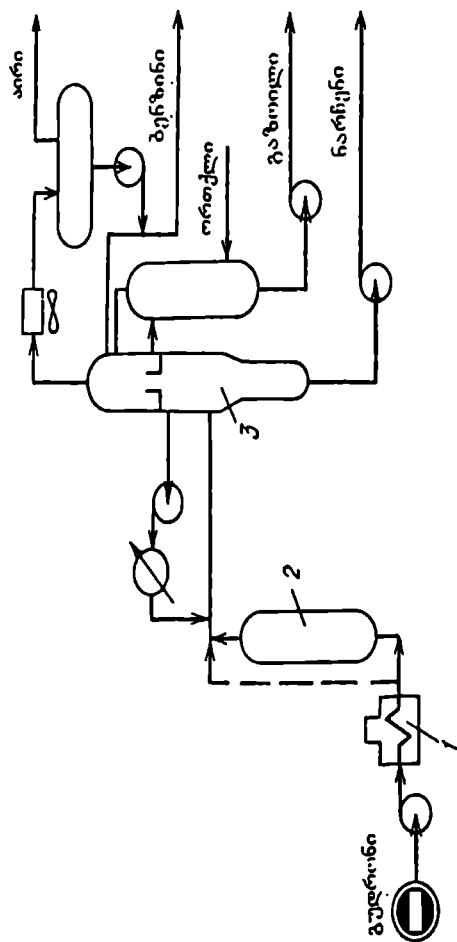
მსუბუქი ნავთის ფრაქტია აიღება შუალედური თევშიდან და გაიყვანება დანადგარიდან. ზოგიერთ დანადგარზე ეს ფრაქტია წინასწარ განიბერება წყლის ორთქლით გამოორთქელის სვეტში.

აღწერილი დანადგარი კომბინირებული დანადგარია. სვეტის ძირიდან ნარჩენი – დაბძიმებული ვისბრეკინგ-მაზუთი მიეწოდება ეაკუუმურ სისტემას.

ვისბრეკინგ-დანადგარი სოკინგ-სექციით ზემოთ განხილულიდან ძირითადად იმით გამოირჩევა, რომ ეაკუუმ-ვისბრეკინგის პროცესი ზორციელდება ლუმლის შიგნით განლაგებულ გამზურე-ბელ კლანკილებში.



ნახ. 3.1. ეთილალკოჰოლის ტექნოლოგიური სქემა:
 1,7,9,10,14 - ტუმბოები; 2 - მილა ღებელი; 3 - რეაქტორი; 4 - რეაქტორული საბეტონი; 5 - პომპა;
 6 - თბომცვლელი; 8 - დამფრთხილებელი სვეტი; 9 - პერის მაგიდა; 12 - წლის მაგიდა; 13 - სეპარატორი



ნახ. 3.2. გუდრანის ვისკერანგ დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა (ფაზა „ალუბერგისტი“):

1 - გამცხელებელი ლუბლი; 2 - სარეგულირებელი კამერა; 3 - ამოირეგულირებს სვეტი

ნედლეულის ყოფნის ხანგრძლივობა სოკინგ-სექციაში დამოკიდებულია მის დანახარჯზე, წნევაზე, ორთქლისა და აირწარმოქმნის უბანზე და აგრეთვე წყლის ორთქლის ხარჯზე, რომელიც შეჰყავთ რადიანტულ მილებში.

მაშუთი, რომელიც მიეწოდება პირველადი გამოხდის დანადგარიდან, ტუმბოთი თბომცვლელების გავლით ცხელდება ღუმლის კლანჩილაში. გაივლის რა კლანჩილას საკონვექციო მილებს, მაშუთი მიდის ღუმლის რადიანტულ მილებში (ორრიგინი ეკრანი). რადიანტული მილების მეორე რიგში შეჰყავთ გადამეტხურებული წყლის ორთქლი. რადიანტული კლანჩილადან გამოსვლისას ნარევი მიეწოდება ამორთქლებლის ქვედა ნაწილში, აქვე მიეწოდება გადამეტხურებული წყლის ორთქლიც. ამორთქლებელში ნარევი დაიყოფა ორთქლისა და თხევად ფაზებად.

სიბლანტის შემცირების მიზნით, მძიმე ნარჩენს ემატება გამხსნელი. გამხსნელად გამოიყენება დანადგარზე მიღებული, წინასწარ გაციელებლი ღიზელის საწვავი. ამორთქლებლის ზევიდან გამოძავალი ორთქლის ნარევი, რომელიც მცირე რაოდენობით შეიცავს კრეკინგ-აირებს, სითბოს მატარებელია თბომცვლელისათვის.

აქედან ნახშირწყალბადოვანი კონდენსატი, აირები და ორთქლი შედიან სარექტიფიკაციო სვეტის ქვედა თეფშის ძირში. ამოსული ორთქლის ნაკადი მიემართება თბომცვლელისაკენ. წარმოქმნილი თხევადი ფლეგმა ჩამოედინება სვეტში მომრწყველად.

სვეტის ქვედა პროდუქტი გაზოილია ღულის 340°C საწყისი ტემპერატურით. ღიზელის საწვავის ფრაქცია გამოორთქელის სვეტიდან გასვლამდე განიბერება ექვსივე თეფშე წყლის ორთქლით.

მაშუთის თერმული კრეკინგის დესტრუქციული გამოხდის პროცესისათვის მოხერხებულია „ეინკლერ-კოხის“ ტიპის დანადგარი, თუმცა აქ არ ხდება ამორთქლებლებიდან გადატუმბული მეორეული სითბოს მთლიანი გამოყენება. ეს აპარატის ნაკლია და არა პროცესის. მაღალი ტემპერატურისას მაშუთი შეიძლება თბომცვლელების გაუვლელად გადაიტუმბოს ღუმლის კლანჩილებში.

მოცებულია გოგირდიანი მაშუთის დესტრუქციული გამოხდის სამუშაო რეჟიმი და პარამეტრები: სიმკვრივე 20°C-ისას – 942 კგ/მ³; კოქსეადობა – 9,5% (მას.), გოგირდის შემცველობა – 2% (მას.).

რეჟიმი:

ღუმლიდან გამოსვლისას ნედლეულის ტემპ., °C 460-475

წყლის ორთქლის ხარჯი, % (მას.).

რადიანტულ მილებში 1,5-2,0

ამორთქლებლის ძირში 5,5-7,0

ამორთქლებელში ნარჩენის ყოფნის ხანგრძლივობა, წთ 40-120

ამორთქლებელში ჭარბი წნევა, მპა

0,2-0,4

ორთქლის სიჩქარე ამორთქლებელში, მ/წმ

= 0,26

რადიანტული მიღების კუთრი სითბური

დაძაბულობა ლუმელში, მგ/(მ²·სთ)

67,0-71,2

ჩვეულებრივი და დესტრუქციული გამოზღისას პროდუქტების გამოსაღები მას. %-ში მოცემულია მე-6 ცხრ-ში.

ცხრილი 6

პროდუქტები	გამოსავალი, %	
	ჩვეულებრივი გამოზღა	დესტრუქციული გამოზღა
აირი	—	1,80
ბენზინი (დულ. საბ. ტემპ. 205°C)	—	3,84
ფრაქცია 205-350°C	4,7	11,83
ფრაქცია 250-550°C	41,9*	60,49**
ნარჩენი	43,4	22,24***
ჯამურად	100,0	100,0

* სიმკვრივე

** სიმკვრივე 914 კგ/მ³, ბრომის რიცხვი 8,5; კოქსადობა 0,96%(მას.)

*** სიმკვრივე დაახლოებით 1050 კგ/მ³.

ამგვარად, დისტილატის გამოსავალი დესტრუქციული გამოზღისას იზრდება 76,16%-მდე (მას.), ხოლო ჩვეულებრივი გამოზღისას — 45,6 %-მდე.

3.3. თერმოკრეკინგის დანადგარი თერმოგაზოილის წარმოებისათვის

თერმული კრეკინგის პროცესის ძირითადი დანიშნულებაა ტექნიკური ნახშირბადისათვის მისაღები ნედლეულის წარმოება. ნედლეულის სახით გამოიყენება მძიმე კატალიზური გაზოილისა და დისტილაციური ექსტრაქტების ნარევი, რომლებიც მიიღება ზეთების სელექციური გაწმენდისას. მიზნობრივ პროდუქტთან — თერმოგაზოილთან (ფრაქცია 200–480°C) ერთად მიიღება აგრეთვე აირი, ბენზინის ფრაქცია და კრეკინგ-ნარჩენი.

თერმოგაზოილის ზარისხის ძირითადი მარევენებელია კორელაციის ინდექსი, გოგირდის შემცველობა, კოქსადობა, ფრაქციული შედგენილობა, სიბლანტე და გამყარების ტემპერატურა.

დანადგარი შედგება შემდეგი სტადიებისაგან:

— რეაქტორული განყოფილება, რომელიც მოიცავს მსუბუქი და მძიმე ნედლეულის კრეკინგის ლუმელს და გამოტანილ სარეაქციო კამერას;

– პროდუქტის დაყოფის განყოფილება – შედგება მაღალი და დაბალი წნევის ამოორთქლებ-
ლებისგან. სადაც წარმოებს კრეკინგ-ნარჩენის გამოყოფა.

თბოცვლის აპარატებია: თბომცველები, კონდენსატორ-მაციერები და წყლის მაციერები.

დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია 3.3 ნახაზზე. ნედლეული სარეზერ-
ვუარო პარკიდან თბომცველების გავლით, სადაც იგი ცხელდება კრეკინგ-ნარჩენის სითბოს
ხარჯზე, ორნაკადად მიეწოდება სარექტიფიკაციო სვეტის ქვედა სექციას. სვეტი ნახევრად ყრუ
თევზით დაყოფილია 2 ნაწილად. ორთქლი სვეტის ქვედა ნაწილიდან გადადის ზედაში, ხოლო
სითხე ზედა ნაწილიდან ჩადინება აკუმულატორში (ჯიბეში) სვეტის შიგნით. აქედან სითხე
(ნედლეულის მსუბუქი ნაწილი) შეიწოვება ტუმბოთი და გადაეცემა ღუმელს კლანჩილაში. სვე-
ტის ძირიდან კი ნედლეულის მძიმე ფრაქცია ტუმბოთი მიეწოდება მეორე ღუმელის კლანჩილას.

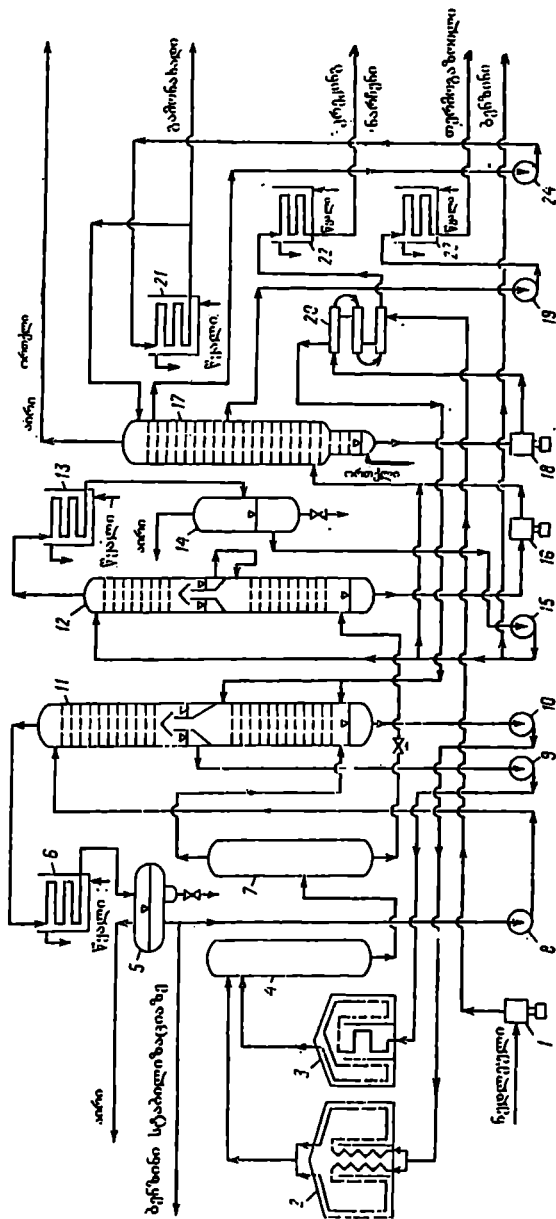
კრეკინგის პროდუქტები ღუმლების (2 და 3) კლანჩილებიდან გამოსვლისას გადაეცემა
გამოტანილ სარეაქციო კამერას, საიდანაც გადადის მაღალი წნევის ამოორთქლებელში. აქ ნარევეს
გამოეყოფა თხევადი კრეკინგ-ნარჩენი, რომელიც შემდეგ რედუქციული სარქელის გავლით
მიეწოდება დაბალი წნევის ამოორთქლებელს.

აირი და ორთქლი ამოორთქლებლის ზედა ნაწილიდან გამოსვლისას მიემართება სვეტის
ძირში, რომლის ზევიდანაც გადის ბენზინის ფრაქცია და აირი. ორთქლი კონდენსირდება და ნარევი
ცივდება კონდენსატორ-მაციერში. შემდგომში აირთხევადი ნარევი იყოფა აირსეპარატორში აირებად
და ბენზინის ფრაქციად. აირი მიეწოდება აირდამაფრაქციონებელ დანადგარს (აფდ), ბენზინის
ბალანსური რაოდენობა – სტაბილიზაციის სვეტს, ნაწილი – სვეტის ზედა თევზს მოსარწყავად.
წნევის დაცემის შედეგად კრეკინგ-ნარჩენიდან გამოიყოფა გაზოილის ფრაქცია; დაუკონდენსირებელი
ორთქლი სვეტიდან მიეწოდება მაციერ-კონდენსატორს.

კონდენსატის ნაწილი ბრუნდება სვეტში მოძრწევლის სახით, ხოლო მისი ბალანსური
რაოდენობა გაიყვანება დანადგარიდან. კრეკინგ-ნარჩენი კი მიეწოდება ეაკუუმურ სვეტს. მიზნობრივი
პროდუქტი – თერმოგაზოილი გაიყვანება, როგორც შუალედური პროდუქტი ეაკუუმსვეტიდან.

კრეკინგ-ნარჩენის დაკოქსის თვიდან ასაცილებლად და მისი ტრანსპორტირების გასაუმჯობე-
სებლად მას აზავეტენ ნაკლებად ბლანტი პროდუქტით. კრეკინგ-ნარჩენი შეიძლება გამოიყენონ
ბიტუმის წარმოებაში და აგრეთვე, როგორც შემაკავშირებელი ნივთიერება. ნახშირის დაბრიკეტებისას.
თერმოგაზოილის გამოსავალი ეაკუუმური სვეტის ნედლეულის 72%-ს (მას.) შეადგენს.

თერმული კრეკინგის თერმოგაზოილის მისაღები ზოგიერთი დანადგარი მუშაობს აღწერი-
ლიდან განსხვავებული სქემით. მიზნობრივი პროდუქტი გამოიყვანება სვეტიდან, ამ შემთხვევაში
თერმოგაზოილის გამოსავალი შეადგენს 24-27% (მას.), კორელაციის ინდექსით. 95–100.



ნახ. 3.3. გარეული თერმოდინამიკის წარმოების თერმული კონკრეტული დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა:
 1,6,18 - გეოგრაფიული ტემპერატურები; 2,3 - ზოლი დანადგარები; 5,14 - აირსაბრუნებელი; 6,13 - მანქანის ტემპერატურები;
 7 - მაღალი წნევის აპარატურა; 8,9,10,15,19,24 - ცენტრიფუგალური ტემპერატორები; 12 - მაღალი წნევის სტაბილიზატორები;
 20 - თბოქცელა; 21,22,23 - მანქანები

ძირითადი აპარატების მუშაობის რეჟიმი

აპარატი	ტემპ., °C	წნევა, მპა
ლუმენი 2		
შემოსავალი	390–410	5,0–5,6
გამოსავალი	490–500	2,2–2,8
ლუმენი 3		
შესასვლელი	290–320	5,0–6,6
გამოსასვლელი	530–550	2,3–2,9
სარეაქციო კამერა		
ზედი	495–500	2,0–2,6
ძირი	460–470	–
მაღალი წნევის ამორთქლებელი		
ზედი	450–460	1,0–1,3
ძირი	430–440	–
სარექტიფიკაციო სვეტი 11		
ზედი	180–220	–
ძირი	390–410	–
დაბალი წნევის ამორთქლებელი (12)		
ზედი	170–200	–
ძირი	400–415	0,25–0,40
ვაკუუმური სვეტი (17)		
შესასვლელი	305–345	0,007–0,013
ზედი	70–90	–
ძირი	300–320	–

სერიული (I) და ვაკუუმური (II) თერმოგაზოილების მისაღები
დანადგარის მატერიალური ბალანსი

აღებულია, % (მას.)	I	II
ნედლეული (ნარევი 1:1)	100,0	100,0
ჯამურად	100,0	100,0
მიღებულია, % (მას.)		
აირი	5,0	5,0
სტაბილური სათავო ფრაქცია	1,3	1,3
ბენზინის ფრაქცია	20,1	20,1
თერმოგაზოილი	24,2	52,6

კრეკინგ-ნარჩენი	48,3	19,9
დანაკარგები	1,1	1,1
ჯამურად	100,0	100,0

თერმოგაზოილის თერმული კრეკინგით მისაღები
ნედლეულის დაზასიათება

მარკენებლები	კატალიზური კრეკინგის გაზოილის მსუბუქი ფრაქცია	კატალიზური კრეკინგის გაზოილის მძიმე ფრაქცია	ზუფის ფენოლით სელექციური გაწმენდის დისტილაციური ექსტრაქტი
სიმკვრივე, 20°C, კგ/მ3	909,0	943,2	962,1
გარდატეხის მარკენებული, 20°C	1,5236	1,5479	1,5480
მოლეკულური მასა	234	260	275
ფრაქციული შედგენილობა, °C დუღ. საწყისი	204	273	337
5%	228	286	351
50%	348	372	381
90%	383	385	431
95%	397	407	444
დუღილის ბოლო წერტილი °C	403	430	-
გოგირდის შემცველობა, %(მას.)	1,20	1,64	3,50
კოქსეადობა, %(მას.)	0,004	0,12	0,30
კინემატიკური სიბლანტე 50°C, მმ²/წმ	4,24	7,87	6,74
გამყარების ტემპერატურა °C	14	22	-
ჯგუფური შედგენილობა, %(მას.) პარაფინ-ნაფთენური	49,5	34,5	10,0
არომატული	50,0	64,5	84,5
მსუბუქი საშუალო	10,7 8,2	8,0 9,1	16,9 28,1
მძიმე	31,1	47,4	39,5
ფისოვანი ნივთიერებები	00,5	1,0	5,5

3.4. ფსევდოდაჭირხნულ ფენებში კოქსის უწყვეტი დაკოქსვის დანადგარი (თერმოკონტაქტური კრეკინგი)

თერმოკონტაქტური კრეკინგის (თკკ) პროცესის დანიშნულებაა დისტილატების მიღება. დისტილატები მდიდარია არომატული ნახშირწყალბადებით და აირებით, რომლებიც 50% (მას.)-მდე უჯერ ნახშირწყალბადებს შეიცავენ.

ნელეულის სახით გამოიყენება ნავთობის ეაკუუმური გამოხდის ნარჩენი – გუდრონის ან ატმოსფერული გამოხდის ნარჩენის – მაზუტის სახით.

პროცესი შეიძლება წარმართოს ნავთობქიმიური ნელეულის მისაღებად: აირების გაზრდილი გამოსავლით, მდიდარი უჯერი ნახშირწყალბადებით; თხევადი პროდუქტებით, რომლებიდანაც შეიძლება გამოიყოს ბენზოლი, ტოლუოლი, ქსილოლები, ნაფთალინი, თხევადი პარაფინები; მძიმე ფრაქციებით, რომლებიც შეიძლება წარმოადგენდეს ტექნიკური ნახშირბადის წარმოქმნის ნელეულს. ამ შემთხვევაში პროცესის რეჟიმი მეტად მკაცრია: რეაქტორში ტემპერატურა 600°C და კოქსგამცხელებელში $670-700^{\circ}\text{C}$ -ია.

თკკ-ის დანადგარი შედგება რეაქტორული ბლოკის (რეაქტორი, კოქსგამცხელებელი, კოქსის სეპარატორ-მაცივარი, პერმბერები და სხვ.) და დაყოფის ბლოკისაგან (პარციალური კონდენსატორი, სარექტიფიკაციო სვეტი, გამოორთქვლის სვეტი, აირსეპარატორი). ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია 3.4 ნახაზზე.

ნელეულ-გუდრონი ეაკუუმური სვეტის ან მაზუთი ატმოსფერული სვეტის ძირიდან გამოყვანილი ტუმბოთი მიეწოდება რეაქტორს. რეაქტორში სითბოს უზრუნველყოფს ფრქვევანების რიცხვი, რომელიც მსხვილ დანადგარზე აღწევს 100-ს და განლაგებულია ფსევდოდაჭირხნულ ფენებში იარუსებად.

კრეკინგის პროცესი ხორციელდება ცხელი კოქსის ნაწილაკების ზედაპირზე $600-620^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე. დაკოქსვის პროდუქტები – აირები და ორთქლი – ფენიდან გამოსვლის შემდეგ გაივლის ციკლონის რიგის სეპარატორების სისტემას კოქსის მტერის გამოსაყოფად და ჩადის სკრუბერში – პარციალურ კონდენსატორში, რომელიც ხაზზე დაკოქსვის შემცირების მიზნით მოთავსებულია უშუალოდ რეაქტორზე. სკრუბერის ზედა ნაწილში მომრწყველის სახით მიეწოდება გაციელებული მძიმე გაზოილი. დაკონდენსირებული ნარევი (რეცირკულატი) შეიწოვება სკრუბერის ძირიდან და გადაიქაჩება რეაქტორში.

კოქსთბომატარებლის ნაწილაკები მათზე დალექილი თხელი ფენით ჩაეშვება რეაქტორის გამოორთქვლის სექციის ძირში. ამავე დროს ისინი განიბერებიან წყლის ორთქლის ნაკადით. შემდგომში თბომატარებელი მოღუნული მილგაყვანილობით (პნევმოტრანსპორტით) გადაადგილდება კოქსის გამცხელებელში. პერმბერის დახმარებით კოქსგამცხელებელს, მანაწილებელი

ცხაურის ქვეშ მიეწოდება პერი, რომელიც საჭიროა გარკვეულ ტემპერატურაზე ცირკულირებადი კოქსის გასაცხლებლად. კოქსი ცხელდება ბალანსური კოქსის წვის სითბოს ხარჯზე. კოქსგამაცხლებელში გატყულებული კოქსი მიღგაყვანილობით ბრუნდება რეაქტორში. ტრანსპორტირებადი აირი წყლის ორთქლია. დიდი ზომის ნაწილაკები ფრაქციის სახით უწყვეტად გაიყვანება სისტემიდან სეპარატორ-მაციერის გავლით. უფრო მცირე ზომის ნაწილაკების გამოყოფა დიდი ზომის ნაწილაკებისგან შესაძლებელია წყლის ორთქლით, რომელიც მიეწოდება სეპარატორს ძირში. რეაქტორულ ბლოკში ცირკულირებადი კოქსის ნაწილაკების ზომები მერყეობს ზღვრებში 0,075-დან 0,300 მმ-მდე, ხოლო საბალანსო კოქსის ნაწილაკების – 0,4 მმ-მდე და უფრო მაღალ მნიშვნელობამდე.

კოქსგამაცხლებლიდან რეაქტორის ზედა ძრის ხაზით მიეწოდება კოქსის ნაწილაკების "ცხელი ნაკადი". ამგვარად, აქ იზრდება ორთქლში კოქსის ნაწილაკების კონცენტრაცია. ნაწილაკები, მექანიკურად დიფუნდირებს რა ციკლონების შესასვლელებთან, ხელს უშლის მათ დაკოქსვას.

ბენზინისა და წყლის ორთქლი, აგრეთვე დაკოქსვის აირი, სვეტის ზევიდან გამომავალი, ცივდება პერმაცივარში და მიეწოდება წყალაირგამყოფს. აქ ადგილი აქვს პროდუქტების დაყოფას ცხიმოვან აირად, არასტაბილურ ბენზინად და წყლის კონდენსატად. ბენზინის ნაწილი ტუმბოთი, როგორც მომწვევლი, მიეწოდება სვეტის ზედა თევშს, ხოლო მისი საბალანსო რაოდენობა თბომცვლელის შემდეგ მიიმართება სტაბილიზაციაზე.

გამოორთქვლის სვეტის ძირიდან გაიყვანება მსუბუქი გაზოილი. ჩვეულებრივ, იგი გამოიყენება თბომცვლელში არასტაბილური ბენზინის გასაცხლებლად. შემდგომში მსუბუქი გაზოილი ცივდება პერმაცივარში და გაიყვანება დანადგარიდან. მძიმე გაზოილი – სვეტის ძირიდან გაიქაჩება ორთქლგენერატორისა და პერის მაციერის გავლით. ნაწილობრივ, მძიმე გაზოილი გამოიყენება როგორც მომწვევლი სკრუბერში, ხოლო მისი საბალანსო რაოდენობა გაიყვანება დანადგარიდან.

რეაქტორული ბლოკის ტექნოლოგიური რეჟიმი:

ტემპ. ფენაში, °C

რეაქტორის	510 – 540
კოქსის გამაცხლებლის	600 – 620
წნევა რეაქტორში და კოქსგამაცხლებელში, მპა	0,14 – 0,16
კოქსი-ნედლეულის ცირკულაციის ჯერადობა	7 – 8
ნედლეულის მიწოდების მასური სიჩქარე, სთ	0,6 – 1,0

3.5. ნათობის ნედლეულის პიროლიზი

(პიროლიზის დანიშნულებაა ნახშირწყალბადოვანი აირის მიღება უჯერი ნახშირწყალბადების, კერძოდ, ეთილენის მაღალი შემცველობით. ამიტომ პიროლიზის დანადგარს ხშირად უწოდებენ ეთილენის მისაღებ დანადგარს. პროცესი შეიძლება წარიმართოს პროპილენის ან ბუტილენის და ბუტადიენის მაქსიმალური გამოსავლით. ეთილენი და პროპილენი გამოიყოფა 99,9%-ის სისუფთავით, ბუტან-ბუტილენის ფრაქცია 30-40%-ის, რომელიც შეიცავს 25-30% ბუტადიენს, 25-30% იზობუტილენს, 15-30% ნ-ბუტანს და პიროლიზის ფისს, რომლიდანაც ღებულობენ არომატულ ნახშირწყალბადებს – ბენზოლს, ტოლუოლს, ქსილოლეს.) პიროლიზის ტექნოლოგიური სქემა მოცემულია 3.5 ნახაზზე.

ყველაზე დიდი რაოდენობით ეთილენი მიიღება ეთანოდან. რაც უფრო ჰმიმეა, ე.ი. მაღალ-მოლეკულურია ნედლეული, მით მცირდება ეთილენის გამოსავალი და იზრდება პიროლიზური ფისის (ნახშირწყალბადების ნარევის C_5 და ზევით) და აგრეთვე კოქსის რაოდენობა.) ეთილენის გამოსავალს ზრდის აგრეთვე ტემპერატურის გადიდება და კონტაქტის დროის შემცირება. კოქსის შესამცირებლად რეკომენდებულია წყლის ორთქლის, წყალბადის, მეთანის ან მეთან-წყალბადის ნარევის მიწოდება.

პიროლიზის საშუალებით მიღებული ეთილენი მიდის ეთილენის ოქსიდის, პლასტიკური მასების და პოლიმერების წარმოებაზე. პიროლიზის პროცესში წარმოქმნილი პროპილენი ძირითადად გამოიყენება პოლიპროპილენის, აკრილონიტრილის და ბუტადიენის საწარმოებლად.

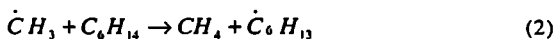
პიროლიზის პროცესში ნედლეულად აღებულია ნახშირწყალბადოვანი ფრაქციის ორთქლი დუღილის ტემპერატურით $>230^{\circ}\text{C}$, რომელიც $70-130^{\circ}\text{C}$ -ზე გამოიყენება არომატული ნახშირწყალბადების გამოსაყოფად; $130-160^{\circ}\text{C}$ – პოლიმერიზაციაზე სტიროლის პოლიმერის მისაღებად; $160-190^{\circ}\text{C}$ -ზე იგი პოლიმერიზდება ფისად; $190-230^{\circ}\text{C}$ -ზე იხმარება ნაფთალინის გამოსაყოფად და $>230^{\circ}\text{C}$ ნარჩენი – პიროლიზის სქელფისი, გამოიყენება კოქსის, სქელფისებისა და ტექნიკური ნახშირბადის მისაღებად.

ტემპერატურის გაზრდა აჩქარებს რეაქციას უფრო მაღალი აქტივაციის ენერგიის შეძენის გამო, რის შედეგადაც იცვლება სხვადასხვა რადიკალების შორის რეაქციების ფარდობა, იზრდება უფრო მეტი ენერგიის შემცველი რადიკალების დაშლის რეაქციების მნიშვნელობა, მცირე ენერგიის შემცველი შეერთების რეაქციებთან შედარებით. ტემპერატურა მოქმედებს ალკენების გარდაქმნაზე, მათ დაშლაზე, რომლებიც მიმდინარეობს მაღალი აქტივაციის ენერგიით. აქტივაციის ენერგია სამივე რიგის ნახშირწყალბადების რეაქციებისთვის შეგვიძლია შემდეგნაირად განვალაგოთ რიგში:

$$E_3 > E_1 > E_2.$$

ალკენების მისაღებად რეაქცია არ უნდა ჩატარდეს 900°C -ზე ზევით, ვინაიდან ამ დროს მოსალოდნელია დაშლის რეაქცია. დაბალმოლეკულური ალკენების მისაღებად საჭიროა რეაქცია წარმართოს დაბალ წნევაზე; იგი მიიღწევა ინერტულ ნივთიერებებთან შერევით, მაგ., წყლის ორთქლთან.

პიროლიზი ჩატარდება H_2 -ის თანაობისას. წარმოქმნილი მეთილის რადიკალი რეაქციას ორი მიმართულებით წარმართავს: წყალბადის მოლეკულით (1) და პეჟსანით (2) საწყისი ნახშირწყალბადის წარმოქმნით.



830°C -ზე პირველი რეაქციის სიჩქარის მუდმივა მთელი რიგით მაღალია, მეორესთან შედარებით.

წარმოქმნილი H_2 (მოლეკულური) მოქმედებს ნედლეულის ნახშირწყალბადებთან. ამ რეაქციის სიჩქარის კონსტანტა 2-3 რიგით მაღლა დგას, ვიდრე ნახშირწყალბადების მოქმედება მეთილის რადიკალთან. წყალბადი გამოდის პიროლიზის ჯამური რეაქციების პომოგენური კატალიზატორი.

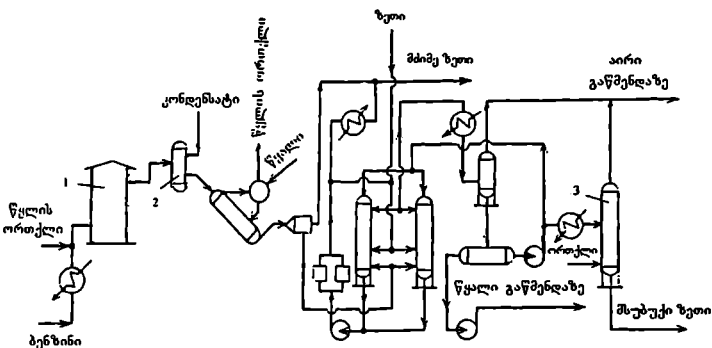
გაცხელებული ბენზინის ფრაქცია წყლის ორთქლთან ერთად მიეწოდება მილა ლუმელს. აირი ლუმლიდან გამოჰყავთ $840-850^{\circ}\text{C}$ -ზე და მაშინვე ახდენენ სწრაფგაცივებას საწრთობ აპარატში, რომელიც წარმოადგენს კონდენსატორ-შემრევს. მასვე აწვდიან წყლის კონდენსატსაც, რათა ტემპერატურა შეამცირონ 150°C -ით. აღნიშნული ტემპერატურა საკმარისია პიროლიზის პროცესისათვის. შემდეგ აცივებენ 400°C -მდე. აირთხევადი ნარევი იყოფა სარექტიფიკაციო სვეტზე პიროლიზის აირებად და ფისებად.

პიროლიზის დროს გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება ლუმელს, ვინაიდან მასზეა დამოკიდებული მისაღები პროდუქტების ხარისხი და გამოსავალი.

[პიროლიზის დანადგარებს ხშირად აყენებენ ქიმიურ კომბინატებთან, რადგან მიღებული აირები გამოიყენონ პოლიეთილენისა და პოლიპროპილენის მისაღებად. აგრეთვე პიროლიზის პროდუქტებს იყენებენ პირდაპირი გამოხდის ბენზინის ფრაქციებთან ერთად, როგორც რიფორმინგის ნედლეულს.

პიროლიზური ფისი შეიძლება დაფრაქციონდეს შემდეგ ფრაქციებად: ЭП-300 დანადგარზე საწყ. 1° -დან 150°C -მდე 25-30% ბენზოლი, 20-25% ტოლუოლი და 10-15% ქსილოლები.

პიროლიზის დანადგარი შედგება რეაქტორული, პიროლიზის გამოსაყოფი, ფისების დაყოფისა და შეკუმშვის ბლოკისაგან. პიროლიზის აირების გაწმენდის, გაშრობის და აირდაყოფის სექციისაგან. 3.5 ნაზ-ზე გამოსასულია ЭП-300 გამარტივებული პიროლიზის დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა.



ნახ. 3.5. ბენზინის პიროლიზის დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა:
1 - ლუმელი; 2 - საწრთობი აპარატი; 3 - სარექტიფიკაციო სვეტი

ფრაქციის სითბოს ხარჯზე 250-400°C-მდე გაცხელებული ბენზინი მიეწოდება ცხრა პარალელურად მომუშავე მილა ლუმელს, ხოლო ეთანროპანური ფრაქცია, გაცხელებული თბომცვლეულში 150-250°C-მდე, მიეწოდება მილა ლუმლის ერთ მილს. კონვექციის კამერიდან გამოსვლისას ნედლეულში შეჰყავთ წყლის ორთქლი რაოდენობით 50% (მას.) ბენზინის მიმართ და 30% (მას.) ეთანროპანის მიმართ; ლუმლების კლაკნილებიდან გამოსასვლელში ტემპერატურა 910-840°C-ია, რეაქციის ხანგრძლივობა 0,3-0,6 წმ. რეაქციის პროდუქტები შემდგომში ხედება ჩაქიდული აპარატების მილთშორის სივრცეში. აპარატებს 12 მპა წნევით მიეწოდება ცხელი წყალი. რეაქციის პროდუქტების სითბოს ხარჯზე წყალი გარდაიქმნება მაღალი წნევის ორთქლად, რომლითაც იკვებება ტუმბო-კომპრესორი.

პიროლიზის პროდუქტები გამოდის ჩაქიდული აპარატებიდან 400°C ტემპერატურით და მიემართება გამრეცხი სარექტიფიკაციო სვეტის ძირში. აქ ისინი ხდებიან სვეტის შუაში მიწოდებულ 200-250°C ფრაქციის (კენწინგის) გაცივებულ ნაკადს, ცივდება 180°C-მდე და ირეცხება ნახშირბადის მყარი ნაწილაკებისაგან. მძიმე კონდენსატი სვეტის ძირიდან ტუმბოთი მიეწოდება სარექტიფიკაციო სვეტს. სვეტის ქვედა ნაწილიდან გამოსული აირი და ორთქლი, რომელიც გაივლის ყრუ თევშებს, დამატებით ირეცხება და ცივდება 100°C-მდე. ყრუ თევშებიდან კონდენსატი ტუმბოთი მიეწოდება სარექტიფიკაციო სვეტს. სვეტის ზევიდან გამომავლი აირი

მსუბუქი ფრაქციის ორთქლთან ერთად ცივდება მაცივარში 30°C-მდე და მიემართება სეპარატორში. სეპარატორის ზევიდან აირი შეიწოვება ტურბოკომპრესორის I-ლი საფეხურით. სეპარატორის ძირიდან კონდენსატი მიეწოდება სვეტს მორწყვაზე. სვეტის ქვედა პროდუქტი – საქაბე საწვავის კომპონენტი (ფრაქცია 250-400°C), თბომცველის გავლით გააცხელებს რა ნედლეულს, ცივდება პაერის მაცივარში და გაიყვანება დანადგარიდან.

სვეტის შუა ნაწილიდან გაიყვანება დისტილაციური ფრაქცია 150-250°C, რომელიც ცივდება თბომცველებში და პაერის მაცივარში. ნაწილი ამ ფრაქციისა ცირკულირებს, ხოლო საბალანსო რაოდენობა მიდის დანადგარის შუალედურ პარკში.

ტურბო-კომპრესორი მუშაობს ორთქლის წნევით 3 მპა, რომელიც მიეწოდება საქაბე-უტილიზატორებიდან. ნამუშევარი წყლის ორთქლი გამოიყენება ნედლეულის გასაზავებლად და მიეწოდება ღუმელში, ხოლო მისი ჰარბი რაოდენობა გაიყვანება საქარხნო ორთქლსადენში.

აირი იწმინდება ცეოლითით, ცივდება მაცივრებში და მიეწოდება სვეტს მეთანის გამოსაყოფად. კონდენსატი გამოეყოფა სეპარატორში მეთან-წყალბადის ნარევს. ეს უკანასკნელი თბომცველის გავლით გაიყვანება დანადგარიდან, ხოლო კონდენსატი მიდის სვეტის მორწყვაზე. სვეტის ძირიდან მიღებული ნარჩენი გადაიქაჩება მომდევნო სვეტში დეეთანიზატორში, საიდანაც მიიღება ეთან-ეთილენური ფრაქცია. სვეტის ზევიდან მიღებულ ნარევს აჰიდრირებენ წნევის ქვეშ რეაქტორში კატალიზატორის თანაობისას. სვეტის ზედა ნაწილიდან აირსეპარატორის გავლით გაიყვანება ეთილენი, ხოლო ქვედა ნაწილიდან გამოყვანილი ეთანი განიცდის შემდგომში პიროლიზს.

სვეტიდან ნარჩენი გაჭადაქაება მომდევნო სვეტში, რომლის ზევიდან მიღებული ნარევი თბომცველის გავლით მიეწოდება სელექციური ჰიდრირების რეაქტორს. აქედან პროპან-პროპილენური ფრაქცია გადაიტუმება შემდეგ სვეტში გასაყოფად. გამოყოფილი პროდუქტებიდან პროპილენის ნაწილი მიდის სვეტის მორწყვაზე, ნაწილი კი გაიყვანება დანადგარიდან. ასევე გაიყვანება პროპანი პიროლიზისთვის. სვეტის ძირიდან ნარჩენი მიეწოდება ბოლო სვეტს, საიდანაც მიიღება ბუტან-ბუტილენის ფრაქცია. მისი ნაწილი ბრუნდება სვეტის მოსარწყავად, ნაწილი კი გაიყვანება დანადგარიდან.

კონდენსატი თანდათანობით მიეწოდება სხვადასხვა სვეტებს ეთან-ეთილენის პროპან-პროპილენისა და ბუტან-ბუტილენის მისაღებად.

1. Химия нефти и газа. Под редакцией Проскурякова В.А. и Дробкина А.Е. - Л.: Химия, 1981.- 321 с.
2. Левинтер М.Е., Ахметов С.А. Глубокая переработка нефти. 1992.
3. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. под ред. Б.И. Бондаренко, М.: Химия, 1983. - 227 с.
4. Химия нефти. Под редакцией З.И. Сюняева. - Л.: Химияб, 1984.- 340 с.
5. Гуреев А.А., Азов В.С. Автомобильные бензины, свойства и применение. М.: Нефть и газ, 1996.- 420 с.
6. Капустин В.М., Кулес С.Г., Бертолусини Р.Г. Нефтеперерабатывающая промышленность США и бывшего СССР, 1995.
7. Сафиев Р.З. Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии нефти. М.: Химия, 1998. 448 с.
8. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. - М.: ЦНИИТЭ нефтехим, 2001, - два тома, 644 с.
9. Маслянский Г.Н. Каталитический риформинг бензинов. - Л.: Химия, 1985. 233 с.
10. Скобло А.И., Трегубова И.А., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1982. - 584 с.
11. Жоров Ю.М. Изомеризация углеводородов. М.: Химия, 1983. - 207 с.
12. Покопова Ю.В. Химия высокомолекулярных соединений нефти. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 179 с.
13. Радченко У.Д., Нефедов Б.Г., Алиев Р.Р. Промышленные катализаторы гидрогенизационных процессов. - М.: Химия, 1987. 311 с.
14. Петров Ал.А. Углеводороды нефти. М.: Наука. 1984. 264 с.
15. Информационно-аналитический материал "Тенденция развития каталитического риформинга. - М.: ЦНИИТЭ нефтехим. 1999.156 с.
16. Современные катализаторы нефтепереработки. М.: ЦНИИТЭ нефтехим. 1999.Петров А.А. Химия алканов. М.: Наука, 1984, 264 с.
17. Сулимов А.Д. Производство ароматических углеводородов из нефтяного сырья. - М.: Химия, 1975. С. 38-41, 47-48, 74-75, 200-110, 152-156, 186-190
18. შაქარაშვილი თ., ანდლულაძე მ. კატალიზური პროცესების თეორია (დამზარე სახელმძღვანელო). თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1996.-103 გვ.

19. შაქარაშვილი თ., ანდლულაძე მ., ტაბატაძე გ. ნავთობის მრეწველობის განვითარება და მისი ბიზნესი საქართველოში (დამხმარე სახელმძღვანელო). თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2002წ.-72 გვ.

20. გაჯიგევი-შენგელია დ., არეშიძე გ. ნავთობქიმიის საწყისები. თბილისი, თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 1999 წ. 72 გვ.

წინასიტყვაობა.....	3
შ ე ს ა ვ ა ლ ი	4
1. ნავთობის ზოგადი დახასიათება	6
1.1. ნავთობის კლასიფიკაცია.....	6
1.2. ნავთობის ნახშირწყალბადოვანი ნაერთები ალკანები	8
1.3. პეტერორგანული ნაერთები	18
1.4. ფისოვან-ასფალტენური ნაერთები (ფან).....	24
1.5. მიკროელემენტები	26
1.6. ნავთობური დისპერსიული სისტემები (ნდს)	28
1.7. დისპაციური სტრუქტურები	30
1.8. ფრაქტალური სტრუქტურები	31
1.9. სხვადასხვა რიგის ნახშირწყალბადების გამოყოფის მეთოდები.....	32
2. ნავთობის პირველადი გადამუშავება	37
2.1. ნავთობის სტაბილიზაციის დანადგარი.....	37
2.2. ნავთობის გაუმარილოება	39
2.3. ნავთობის ატმოსფერული გამოზდა (რექტიფიკაცია) ორსეკტიან დანადგარზე.....	43
2.4. მაზუთის ვაკუუმიური გამოზდა (რექტიფიკაცია)	46
2.5. აპარატები	48
2.6. ბენზინის დისტილაციის მეორეული გამოზდის დანადგარი	56
2.7. ვაკუუმ-დანადგარი ზეთოვანი ფრაქციების მისაღებად.....	58
3. თერმომდესტრუქციული პროცესები	60
3.1. თერმული კრეკინგი და ვისბრეკინგი	60
3.2. მაზუთისა და გუდრონის დესტრუქციული გამოზდის დანადგარები	65
3.3. თერმოკრეკინგის დანადგარი თერმოგაზოლის წარმოებისათვის	69
3.4. ფსევდოდაჰირხნულ ფენებში კოქსის უწყვეტი დაკოქსვის დანადგარი (თერმოკონტაქტური კრეკინგი)	74
3.5. ნავთობის, ნედლეულის პიროლიზი	77
ლიტერატურა	81

რედაქტორი ე. გიორგაძე

ტექნიკური რედაქტორი ნ. ცირეკიძე

კორექტორი ნ. დოლიძე

კომპიუტერული უზრუნველყოფა ვ. ვარდუაშვილის

გადაეცა წარმოებას 31.05.2005 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.11.2005. ქალაქი
60X84 1/8. ნაბეჭდი თაბახი 5,25. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 6,55. სააღრიცხვო-საგამომცემლო
თაბახი 5. ტირაჟი 100. შეკვ. № 213 ;

გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი, კოსტავას 77



სტუ-ს სტამბა, თბილისი, კოსტავას 75