

UDC 66.074.32

SCOPUS CODE 2310

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-86-97>

აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენი აირების აზოტის ოქსიდებისგან გაწმენდის პროცესის კვლევა

მარლენ მჭედლიშვილი ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: m.mchedlishvili@gtu.ge

ალექსანდრე აფაქიძე რუსთავის სს „აზოტი“, საქართველო, 3702, რუსთავი, მშვიდობის ქ. 2
E-mail: alika.aphak@gmail.com

რეცენზენტები:

ჯ. შენგელია, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: jemal.shengelia@gtu.ge

ი. ბაზღაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი
E-mail: i.bazgadze@gtu.ge

ანოტაცია. აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენი აირების, აზოტის ოქსიდებისგან ($\text{NO} + \text{NO}_2$) ბუნებრივი აირით, საწარმოო პირობებში, კატალიზური აღდგენის გზით გაწმენდის შედეგად დადგინდა, რომ თუმცა აზოტის ოქსიდების შემცველობა რეაქტორიდან გამომავალ აირებში არ არის დიდი, ის შეესაბამება ტექნოლოგიური რეგლამენტის მოთხოვნებს და არ აჭარბებს შესაბამისი საერთაშორისო ორგანიზაციების მიერ აღიარებულ ზღვრის ნორმებს; კატალიზატორის აქტიურობა დაბალია – გაწმენდის ხარისხი 50%-ს არ აღემატება. იმავდროულად თერმოდინამიკურმა გათვლებმა აჩვენა, რომ რეგლამენტით შერჩეულ ტემპერატურაზე, აზოტის ოქსიდების ბუნებრივი აირით აღდგენის ხარისხი თეორიულად 99,97%-ია.

შესაბამისი ორგანიზაციების მიერ აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენ აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობაზე მოთხოვნების გამკაცრების შემთხვევაში არსებობს აირების გაწმენდის ხარისხის გაუმჯობესების ორი ძირითადი გზა: 1) ტექნოლოგიურ რეგლამენტში შესაბამისი ცვლილებების შეტანა და 2) უფრო ეფექტური კატალიზატორის გამოყენება.

საკვანძო სიტყვები: აზოტმჟავა; აზოტის ოქსიდები; გაწმენდა; თერმოდინამიკური ანალიზი; კატალიზატორი.

შესავალი

აზოტმჟავა ხელოვნურად მიღებულ არაორგანულ ნაერთთაგან უმნიშვნელოვანესია, ხასიათდება მოხ-

მარების ფართო სპექტრით და წარმოების მოცულობის მხრივ, რომელიც ყოველწლიურად იზრდება, მას ერთ-ერთი პირველი ადგილი უჭირავს მსოფლიოში. ამჟამად მსოფლიო ცივილიზაციის ტექნიკური განვითარების დონე ისეთია, რომ მრეწველობის ნებისმიერ დარგში არსებულ საწარმოთა უდიდესი უმრავლესობა ხასიათდება ნარჩენების სახით მყარი, თხევადი თუ აირადი ნაერთების გამოყოფით, რაც არსებით გავლენას ახდენს ადამიანის საარსებო გარემოზე. ამ მხრივ არც აზოტმჟავას წარმოებაა გამონაკლისი და მიეკუთვნება გარემოს დამაბინძურებელ პროცესთა რიცხვს; მის წარმოებას გარკვეულწილად ახლავს თხევადი და აირადი ნარჩენების გამოყოფა და გარემოზე ზემოქმედება.

თანამედროვე ტექნოლოგიური სქემებით მომუშავე აზოტმჟავას მწარმოებელი ქარხნები საერთაშორისო შეთანხმებებით გათვალისწინებულ ნორმებს აკმაყოფილებს და ნარჩენების სახით ატმოსფეროში გატყორცნილ აირებში გარემოს დამაბინძურებელი ნაერთების შემცველობა საერთაშორისო ნორმებით დადგენილ ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციებს არ აჭარბებს. მათ რიცხვს მიეკუთვნება რუსთავის სს „აზოტი“. აქვე გვინდა აღვნიშნოთ, რომ სამრეწველო თუ სასოფლო-სამეურნეო ნაწარმზე, ტრანსპორტზე, კომუნიკაციებსა და სხვა საშუალებებზე მოსახლეობის მზარდი მოთხოვნილების გამო პროპორციულად იზრდება მათ მიერ ატმოსფეროში მავნე გამონაყოფების მოცულობაც, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს არა მარტო დედამიწის ფლორასა და ფაუნაზე, არამედ თვით გლობალურ გეოლოგიურ პროცესებზეც. აღნიშნულიდან გამომდინარე, უნდა მოველოდეთ, რომ ახლო მომავალში გარემოს დამცველი მსოფლიო ორგანიზაციები გადახედავენ

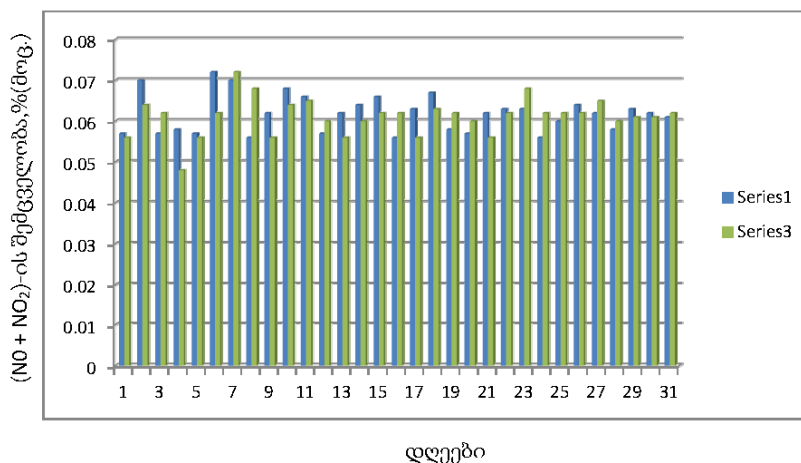
ზღვ-ს. ეს კი გამოიწვევს საწარმოების მიერ შემუშავებული რეგლამენტის გადახედვას და ახალ რეგულაციებთან შესაბამისობაში მოყვანას, რაც საკმაოდ მტკივნეული პროცესი იქნება ნებისმიერი საწარმოსთვის. ამ მხრივ არც რუსთავის სს „აზოტი“ გამონაკლისი და მიუხედავად იმისა, რომ იქ არსებული სიტუაცია სავსებით შესაბამეობა დღეს არსებულ საყოველთაოდ აღიარებულ მოთხოვნებს, საჭიროა საერთაშორისო საკანონმდებლო ცვლილებებისათვის მზადყოფნა. დამყარებული ტექნოლოგიური რეჟიმის პირობებში აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენ აირებში აზოტის ოქსიდების ($NO + NO_2$) შემცველობა დამოკიდებულია წარმოებისთვის შერჩეულ ტექნოლოგიურ სქემაზე. ამჟამად ძირითადად გამოყენებულია კომბინირებულ ან ერთიან მაღალწნევაზე მომუშავე სქემები. ამ სქემებით მუშაობისას, სააბსორბციო სვეტიდან გამომავალ აირებში, რომელიც „კუდის აირების“ სახელწოდებით არის ცნობილი, აზოტის ოქსიდების შემცველობა 0,05-დან 0,2%-მდეა (მოც.), რაც სანიტარიული ნორმებით არ არის დაშვებული და მოითხოვს მათ გაწმენდას ატმოსფეროში გაშვებამდე. წინამდებარე კვლევის მიზანი იყო რუსთავის სს „აზოტი“ „კუდის აირების“ აზოტის ოქსიდებისგან გაწმენდი კატალიზატორის აქტიურობის დადგენა და საჭიროების შემთხვევაში გაწმენდის ხარისხის ასამაღლებლად საჭირო რეზერვების მოძებნა.

ძირითადი ნაწილი

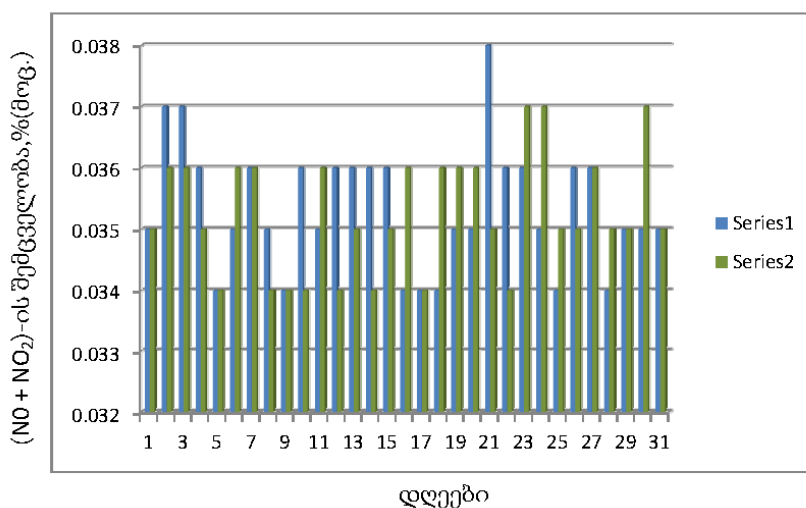
კვლევები ტარდებოდა რუსთავის სს „აზოტის“ აზოტმჟავას სააქროში ტექნოლოგიურად გამართული მუშაობის რეჟიმში, რის გამოც შეუძლებელი იყო კვლევისათვის საჭირო ყველა პირობის დაცვა. დაკ-

ვირეების ობიექტად შერჩეული იყო კუდის აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობა (კონცენტრაცია) სააბსორბციო სვეტიდან გამოსვლისას და, გამწმენდი რეაქტორის შემდეგ; მოწმდებოდა ასევე მათი ტემპერატურა გამწმენდ რეაქტორში შესვლის წინ,

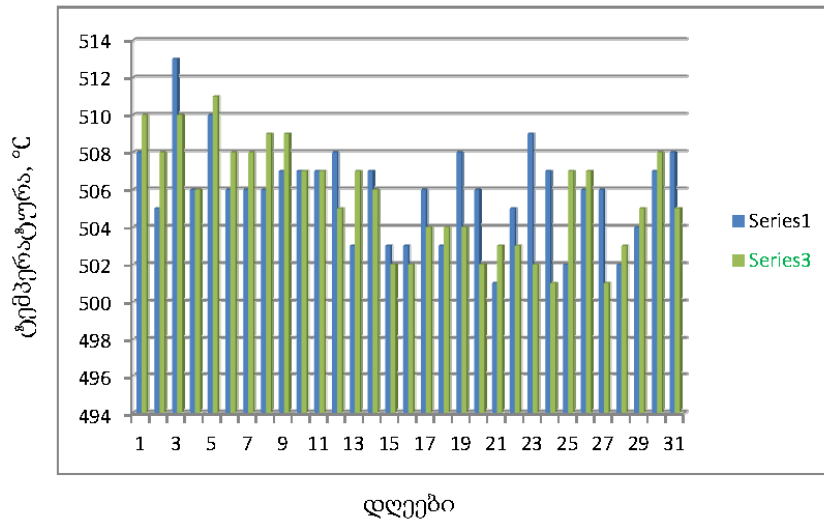
რეაქტორის შემდეგ და მათი ატმოსფეროში გატყორცნის ხაზზე. დაკვირვება წარმოებდა ერთი თვის განმავლობაში დღე-ღამეში ორჯერ, დღის და ღამის ცვლაში. შედეგები მოცემულია 1-5 სურათებზე.



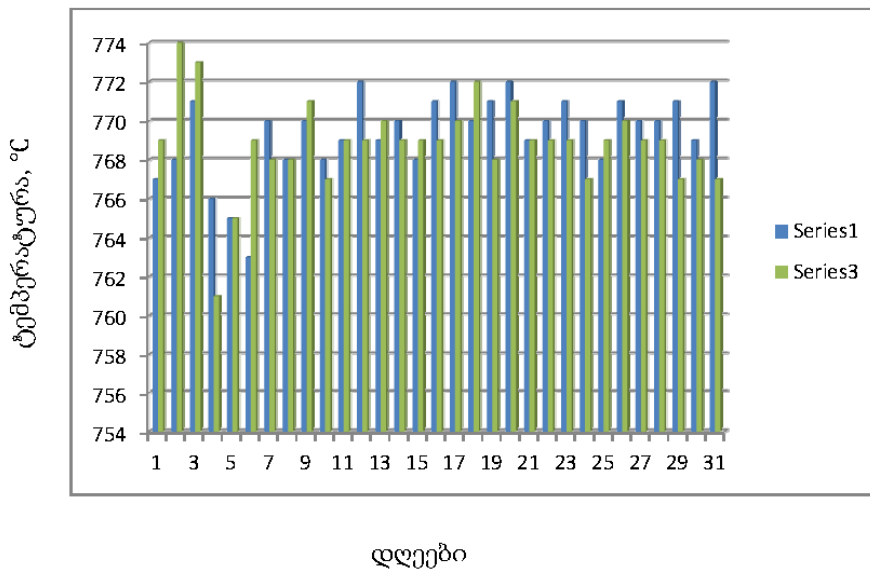
სურ. 1. (NO+NO₂) - ის შემცველობა სააბსორბციო კოლონის შემდეგ. რეგლამენტით: ა/უ 0,1% („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის)



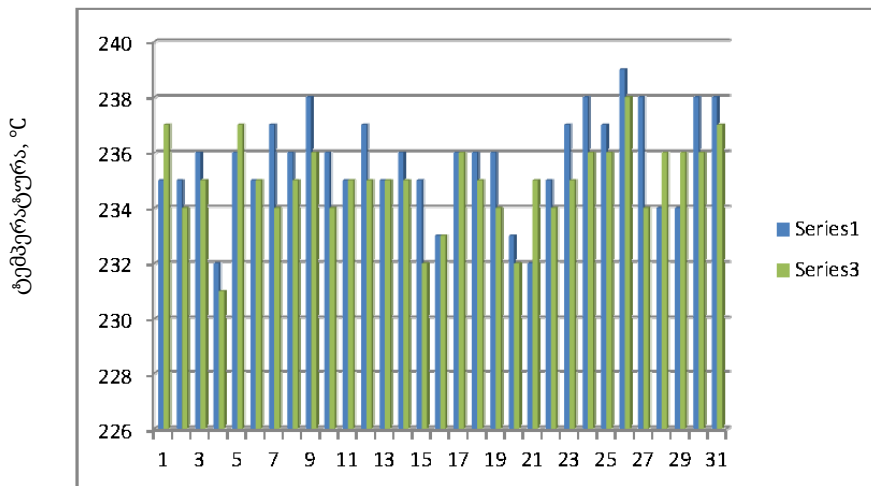
სურ. 2. (NO+NO₂) - ის შემცველობა რეაქტორის შემდეგ. რეგლამენტით: ა/უ 0,038% („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).



სურ. 3. „კუდის აირების“ ტემპერატურა რეაქტორის შესასვლელში. რეგლამენტით: ა/ნ 500°C („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).



სურ. 4. „კუდის აირების“ ტემპერატურა რეაქტორის გამოსასვლელში. რეგლამენტით, 750-760°C („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).



დღეები

სურ. 5. გამონაბოლქვი აირების ტემპერატურა ატმოსფეროში გაშვების წინ.
რეგლამენტი: 170-220°C („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).

პირველ და მე-2 სურათებზე წარმოდგენილი კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ აზოტის ოქსიდების შემცველობა სააბსორბციო სვეტიდან, ხოლო შემდეგ რეაქტორიდან გამომავალ „კუდის აირებში“ სტაბილურად უცვლელია – კონცენტრაციები იცვლება მცირე საზღვრებში. შესაბამისად, დიდი რყევებით არ ხასიათდება „კუდის აირების“ გაწმენდის ხარისხის მნიშვნელობა, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta = \frac{(C_1 V_1 - C_2 V_2)}{C_1 V_1} \cdot 100,$$

სადაც η არის გაწმენდის ხარისხი, %;

C_1 – აზოტის ოქსიდების კონცენტრაცია სააბსორბციო სვეტიდან გამომავალ აირში, %(მოც.);

C_2 – აზოტის ოქსიდების შემცველობა აღდგენის რეაქტორიდან გამომავალ აირში, %(მოც.);

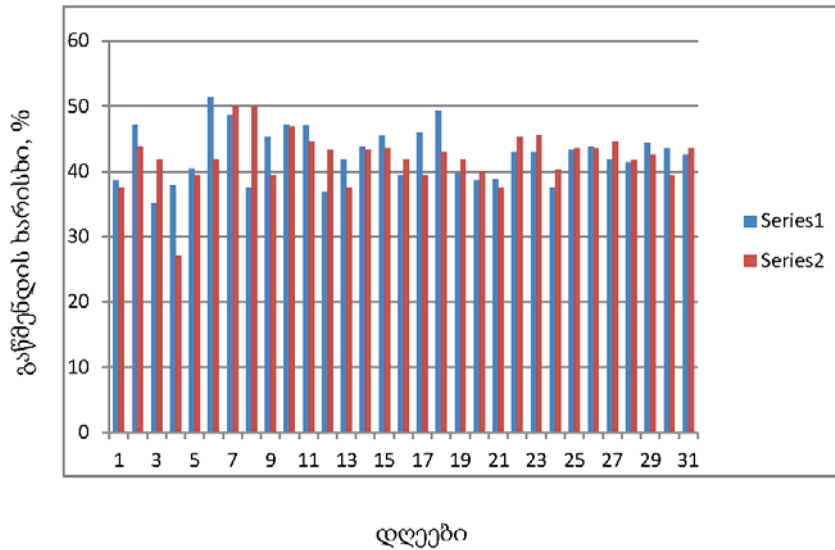
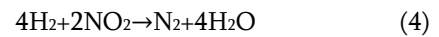
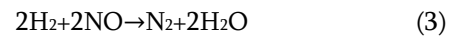
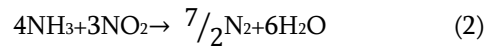
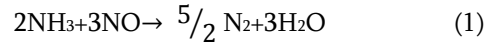
V_1 – აირის მოცულობა სააბსორბციო სვეტიდან გამოსვლისას ($\text{ნმ}^3/\text{სთ}$);

V_2 – აირის მოცულობა გამწმენდი რეაქტორის შემდეგ ($\text{ნმ}^3/\text{სთ}$).

კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ დიდი რყევებით არც რეაქტორში შემავალი „კუდის აირების“ ტემპერატურა ხასიათდება – ცვლილება 10-12⁰-ს არ აჭარბებს (სურ.3). ამასთანავე, არ შეინიშნება კანონზომიერება ტემპერატურის ცვლილებასა და გარდაქმნის ხარისხის მნიშვნელობას შორის. შეიძლება ითქვას, რომ არსებული ტემპერატურული საზღვრების ფარგლებში გაწმენდის ხარისხის ცვლილება სხვა ფაქტორებით არის განპირობებული. საგულისხმოა ის ფაქტიც, რომ წარმოებაში გამოყენებულ კატალიზატორზე აზოტის ოქსიდების ბუნებრივი აირით აღდგენის ხარისხი (გაწმენდის ხარისხი) 50%-ს არ აჭარბებს. ხშირად მისი მნიშვნელობა კიდევ უფრო ნაკლებია (<35%). აღდგენის დაბალი ხარისხი შესაძლებელია გამოწვეული იყოს, ერთი მხრივ, პროცესის ტემპერატურაზე წონასწორული გარდაქმნის ხარის-

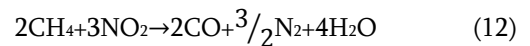
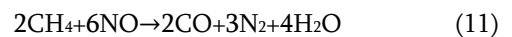
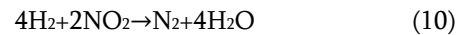
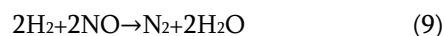
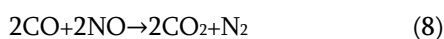
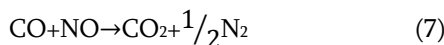
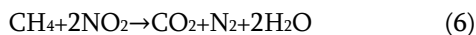
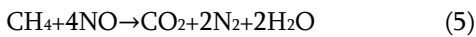
ხის დაბალი მნიშვნელობით, მეორე მხრივ – არაერთი ტექნოლოგიური ფაქტორით. წონასწორული გარდაქმნის ხარისხის ცოდნით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ, კატალიზატორის შეცვლის გარეშე გარდაქმნის ხარისხის გაზრდაზე. დასკვნების გაკეთებას ართულებს ის გარემოებაც, რომ აღმდგენად ბუნებრივი აირის, ისევე როგორც ამიაკის გამოყენების შემთხვევაში, აღდგენის პროცესი მიმდინარეობს არა მხოლოდ ერთი რომელიმე კონკრეტული რეაქციით, არა-

მედ პარალელურად მიმდინარე რეაქციებით. მაგალითად, აღმდგენად ამიაკის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია აღდგენის პროცესში მონაწილეობდეს როგორც თვით ამიაკი, ისე ამიაკის დაშლის შედეგად გამოყოფილი წყალბადი:



სურ. 6. (NO+NO₂) - ისგან გაწმენდის ხარისხი, % („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის)

კიდევ უფრო მეტია პარალელურად მიმდინარე აღდგენის რეაქციების რიცხვი აღმდგენად მეთანის გამოყენების შემთხვევაში:



წონასწორული რეაქციის განხორციელებისას პროცესი ითვლება ოპტიმალურად, თუ დიდია რეაქციის გამოსავლიანობა თეორიულთან შედარებით. ეს უკანასკნელი გამოითვლება ფორმულით:

$$\alpha = \frac{\eta_{\text{პრ}}}{\eta_{\text{თეორ}}}$$

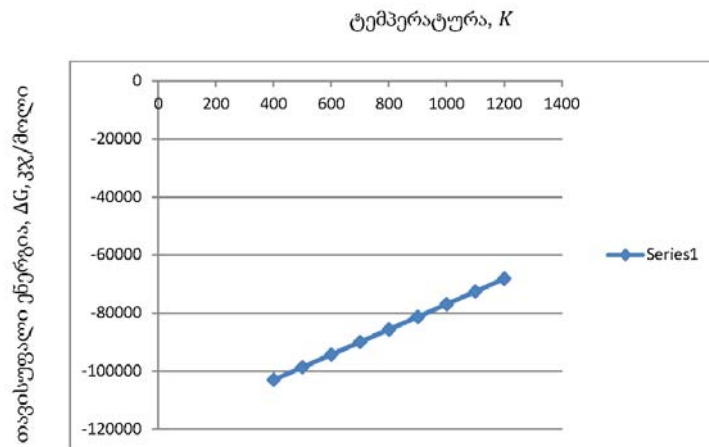
სადაც α არის რეაქციის გამოსავლიანობა (ერთეული წილი);

$\eta_{პრ}$ – პრაქტიკულად მიღებული გარდაქმნის ხარისხი;

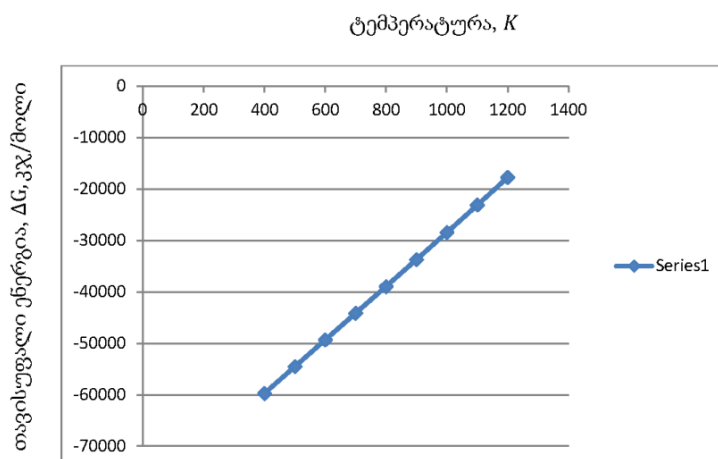
$\eta_{თეორ}$ – თეორიული (წონასწორული) გარდაქმნის ხარისხი;

წარმოებაში გამოყენებული კატალიზატორისთვის ასეთი გათვლები, ჩვენთვის ხელმისაწვდომი ლიტერატურაში ვერ მოიძებნა.

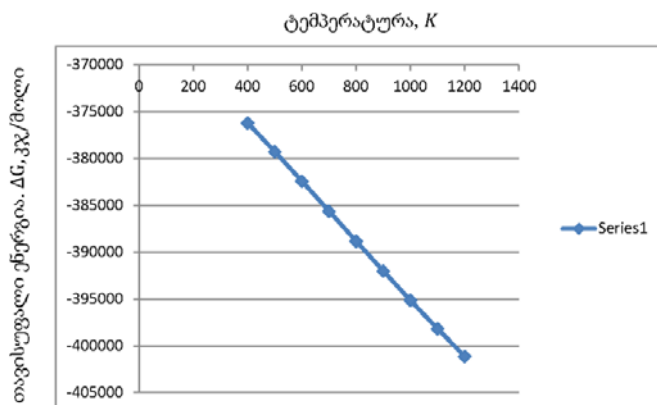
ზემოთ მოცემული ზოგიერთი რეაქციისათვის, ჩვენ შევასრულეთ თერმოდინამიკური გათვლები, კერძოდ, ჯერ განვსაზღვრეთ რეაქციების თავისუფალი ენერჯის მნიშვნელობები რეაქციის პროდუქტებისა და მორეაგირე კომპონენტების თბოტევადობათა შორის სხვაობის გათვალისწინებით, ხოლო შემდეგ – წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობები (5), (11), (6), (1), (2) რეაქციებისათვის. მიღებული შედეგები მოცემულია 7- 11 სურათებზე.



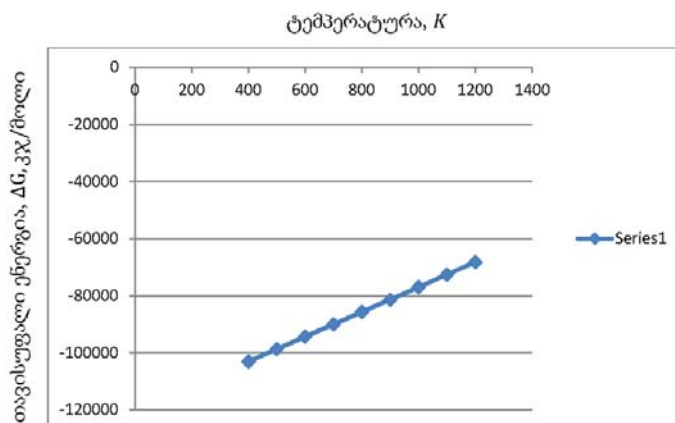
სურ. 7. თავისუფალი ენერჯის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის $CH_4 + 4NO \rightarrow CO_2 + 2N_2 + 2H_2O$



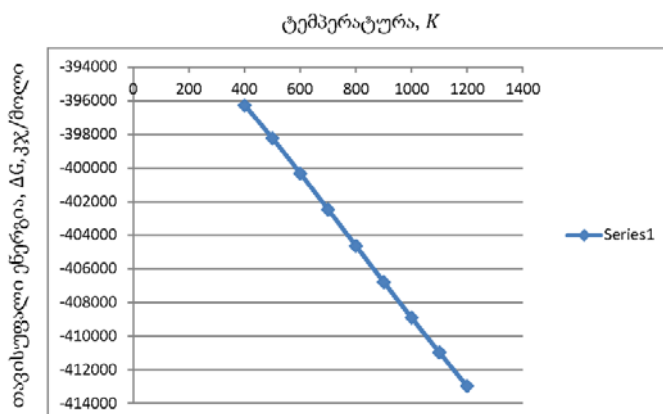
სურ. 8. თავისუფალი ენერჯის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $2CH_4 + 6NO \rightarrow 2CO + 3N_2 + 4H_2O$



სურ. 9. თავისუფალი ენერგიის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $\text{CH}_4 + 2\text{NO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



სურ. 10. თავისუფალი ენერგიის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $4\text{NH}_3 + 6\text{NO} \rightarrow 5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$



სურ. 11. თავისუფალი ენერგიის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $8\text{NH}_3 + 6\text{NO}_2 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$

გამოთვლების შედეგები გვიჩვენებს, რომ თითოეული ჩვენ მიერ განხილული რეაქცია პრაქტიკულად ბოლომდე უნდა მიმდინარეობდეს. საცდელად ავიღეთ (5) რეაქცია. მარტივი ალგებრული გარდაქმნით ჩვენ მივიღეთ აზოტის (II) ოქსიდის თეორიული გარდაქმნის ხარისხის წონასწორობის მუდმივაზე დამოკიდებულების ფორმულა:

$$x = \frac{1,741 \times K_p^{0.8}}{1 + 1,741 \times K_p^{0.8}}$$

სადაც K_p არის განსახილველი რეაქციის (5) წონასწორობის მუდმივა;

x – თეორიული გარდაქმნის ხარისხი წონასწორობის პირობებში.

რეაქციის თავისუფალ ენერგიასა და წონასწორობის მუდმივას შორის ალგებრული დამოკიდებულების გამოყენებით განისაზღვრა წონასწორული გარდაქმნის ხარისხი 1000K-ზე, რომელიც ტოლი აღმოჩნდა 0,9997-ის ანუ 99,97%- ის.

წარმოებაში მიმდინარე აღდგენის პროცესის გამოკვლევის შედეგების და გათვლებით მიღებული თეორიული გარდაქმნის ხარისხის (x) გამოყენებით დგინდება, რომ რეაქციის გამოსავალი თეორიულიდან (α) არ აღემატება 50,02%-ს და ეს არ არის გამოწვეული წონასწორული ფაქტორებით. გარდაქმნის უფრო მაღალი ხარისხის მისაღწევად საჭიროა ან უფრო ეფექტური კატალიზატორის გამოყენება, ან კატალიზატორთან შეხების დროის გაზრდა. ამ უკანასკნელის მიღწევა შესაძლებელი იქნება კატალიზატორის მოცულობის გაზრდით ან აზოტმჟავას წარმოების მოცულობის შემცირებით. როგორც ერთი, ისე მეორე გზა გულისხმობს კატალიზატორის მოცულობის გაზრდას პროდუქციის

ერთეულზე, რაც ეკონომიკური ხარჯის გაზრდასთან იქნება დაკავშირებული.

დასკვნა

1. აზოტმჟავას საამქროდან ატმოსფეროში გამავალ აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობა რეგლამენტით და საერთაშორისო ნორმებით გათვალისწინებულის ფარგლებშია, თუმცა კატალიზატორით მათი გაწმენდის ხარისხი უკეთეს შემთხვევაში 40-50%-ს არ აჭარბებს.
2. თერმოდინამიკური გათვლებით დადგენილია, რომ აზოტის ოქსიდების თავისუფალ აზოტამდე აღდგენის რეაქციები, აღმდგენად ამიაკის, წყალბადის ან ბუნებრივი აირის გამოყენების შემთხვევაში პრაქტიკულად შეუქცევადია და ბოლომდე მიმდინარეობს. დადგენილია, რომ წარმოებაში აზოტის ოქსიდებისგან გაწმენდის დაბალი ხარისხი გამოწვეული არ არის რეაქციის შექცევადობით და განპირობებულია ტექნოლოგიური რეჟიმის ნორმებით და/ან კინეტიკური ფაქტორებით.
3. ატმოსფეროში გამავალ აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობაზე მოთხოვნების გამკაცრების შემთხვევაში საჭირო გახდება რეგლამენტით გათვალისწინებული ტექნოლოგიური რეჟიმის ნორმებში გარკვეული ცვლილებების შეტანა. ასეთთა რიცხვს მიეკუთვნება: წარმოების მოცულობის შემცირება, კატალიზატორის მოცულობის გაზრდა, აბსორბციის პროცესის ისე განხორციელება, რომ შემცირდეს აზოტის ოქსიდების კონცენტრაცია სვეტიდან გამომავალ აირში; ერთ-ერთი გზა აგრეთვე უფრო ეფექტური კატალიზატორის მოძიებაა.

ლიტერატურა

1. Weks E. U. Blok F. Ye. Thermodynamic properties of 65 elements--their oxides, halides, carbides, and nitrides. M.: „Metallurgy”. 1965, 145 p. (in Russian).
2. Ryabin V.A., Ostroumov M.A., Sweet T.F. Yakhontova E. L., Petropavlovsky I. A. Thermodynamic properties of substances. L.: “Khimiya”. 1977, 392 p. (in Russian).
3. Zagoruchenko V.A., Zhuravlev A.M. Thermodynamic properties of gaseous and liquid methane. M.: “Izdatelstvo standartov”. 1969, 235 p. (in Russian).
4. Handbook of Nitrogen. Vol.2. M.: “Khimiya”. 1969. 445 p. (in Russian).
5. Nitric acid production in large-scale single units. Edited by V.M. Olevsky. M.: “Khimiya”. 1985, 400 p. (in Russian).
6. Veriatan W.D. Thermodynamic properties of inorganic substances. Handbook. M.: “Atomizdat”. 1965, 112 p. (in Russian).
7. Method for catalytic purification of waste gases from nitrogen oxides. Patent for invention N2174430. 10.10.2001. (in Russian).
8. Karavaev M.M., Zasorin A.P., Kleshchev N.F. Catalytic Oxidation of Ammonia. M.: “Khimiya “. 1983, 232 p. (in Russian).

UDC 66.074.32

SCOPUS CODE 2310

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-86-97>

Research of the process of exhaust gas cleaning in the production of nitric acid from nitrogen oxides

Marlen Mchedlishvili Department of Chemical Technology and Biotechnology, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: m.mchedlishvili@gtu.ge

Aleksandre Aphakidze Rustavi JSC "Azoti", Peace 2, 3702 Rustavi, Georgia
E-mail: alika.aphak@gmail.com

Reviewers:

J. Shengelia, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: jermal.shengelia@gtu.ge

I. Bazgadze, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: i.bazgadze@gtu.ge

Abstract. The process of exhaust gas cleaning in the production of Nitric acid from Nitrogen oxides ($\text{NO} + \text{NO}_2$) was studied by catalytic reduction of natural gases. It has been established that the content of Nitrogen oxides in gases leaving the catalytic reactor is low, however it complies with the production regulations and does not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) standards adopted by the relevant international organizations, the catalyst activity is low - the purification rate does not exceed 50%.

At the same time, thermodynamic analysis showed that the theoretical extent of gas purification from Nitrogen oxides, at the temperature of the catalytic reduction of natural gas production process, is 99.97%.

Within the strict requirements of the relevant organizations for the content of Nitrogen oxides in the exhaust gases of Nitric acid production, there are two main solutions available to increase the degree of gas purification: 1) providing appropriate changes in process regulations and 2) using more efficient catalyst for exhaust gas cleaning from nitrogen oxides.

Resume:

Key words: Catalyst; cleaning; Nitric acid; Nitrogen oxides; thermodynamic analysis.

UDC 66.074.32

SCOPUS CODE 2310

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-86-97>

Исследование процесса очистки отходящих газов производства азотной кислоты от оксидов азота

Марлен Мchedlishvili Департамент химической технологии и металлургии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 69
E-mail: m.mchedlishvili@gtu.ge

Александр Апакидзе Руставское А/О «Азот», Грузия, 3702, Рустави, ул. Мшвидоба 2
E-mail: alika.aphak@gmail.com

Рецензенты:

Д. Шенгелия, профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ
E-mail: jemal.shengelia@gtu.ge

И. Базгадзе, профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ
E-mail: i.bazgadze@gtu.ge

Аннотация. Изучен процесс очистки выхлопных газов в производстве азотной кислоты от оксидов азота (NO+NO₂) путем каталитического восстановления природным газом. Установлено, что хотя содержание оксидов азота в выходящих из каталитического реактора газах, небольшое, соответствует регламенту производства и не превышает норм П.Д.К., принятых соответствующими международными организациями, активность катализатора низкая, – степень очистки не превышает 50%.

При этом термодинамический анализ показал, что теоретическая степень очистки газа от оксидов азота, при температуре производственного процесса каталитического восстановления оксидов азота природным газом составляет 99,97%.

При ужесточении требований соответствующими организациями на содержание оксидов азота в выхлопных газах производства азотной кислоты, имеются два решения проблемы повышения степени очистки газа: 1) внесение изменений в технологический регламент и 2) использование более эффективного катализатора для очистки газов от оксидов азота.

Ключевые слова: азотная кислота; катализатор; оксиды азота; очистка; термодинамический анализ.

განხილვის თარიღი 03.05.2019
შემოსვლის თარიღი 15.05.2019
ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019