

UDC 546. 544

SCOPUS CODE 1603

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-4-33-45>**NaClO-ს მიღება NaCl-ის დაბალი კონცენტრაციის წყალხსნარების ელექტროლიზით**

- ჯემალ შენგელია** ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: j.shengelia@gtu.ge
- გურამ გალოგრე** ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: guramigalogre@gmail.com

რეცენზენტები:

დ. ერისთავი, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: d.eristavi@gtu.ge

მ. დონაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: m.donadze@gtu.ge

ანოტაცია. სამუშაოს მიზანია ოპტიმალურისაგან განსხვავებულ პირობებში, კერძოდ, 20–25 გ/ლ NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღების ისეთი მეთოდის შემუშავება, რომელიც უზრუნველყოფს ამ პროდუქტის კონკურენტუნარიანი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შენარჩუნებას, უპირველეს ყოვლისა, ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯის თვალსაზრისით. დაბალი კონცენტრაციის NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით მიღებული NaClO გამოიყენება არაპირდაპირი ელექტროქიმიური ჟანგვის მეთოდით ცეოლიტის MnO₂-ით მოდიფიცირების პროცესში, სადაც მედიატორის ფუნქციას ასრულებს რედოქს სისტემა NaCl – NaClO.

დადგენილია 20–25 გ/ლ NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღების ოპტიმალური პირობები: აქტიური ქლორის კონცენტრაცია ელექტროლიზით მიღებულ ხსნარში 2,0–2,3 გ/ლ; ანოდური დენის სიმკვრივე 200–300 ა/მ²; ელექტროლიტის ტემპერატურა 20–25°C. ამ პირობებში აქტიური ქლორის დენით გამოსავალია 74,8–82,5%, ხოლო ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯი – 5,12–7,61 კვტ.სთ/კგ, რაც უტოლდება სამრეწველო ოპტიმალურ პირობებში მიღებულ სიდიდეს.

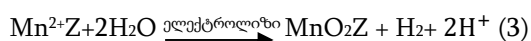
საკვანძო სიტყვები: აქტიური ქლორი; დენით გამოსავალი; დენის სიმკვრივე; ელექტროლიზი.

შესავალი

NaClO-ს ძლიერი მჟანგავი თვისება ფართოდ გამოიყენება საფეიქრო და ქაღალდის მრეწველობაში, სხვადასხვა ქიმიურ პროცესში. ასეთი ქიმიური პროცესის მაგალითია მანგანუმის, რკინისა და დარიშხანის იონებისაგან წყლის გამწმენდი მფილტრავი მასალის – MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღების ხერხი [1], [2]. ხერხის I სტადია ითვალისწინებს ცეოლიტის დამუშავებას Mn(II) მარილის წყალხსნარით, რის შედეგადაც იონმიმოცვლითი მექანიზმით მიიღება Mn²⁺ იონებით მოდიფიცირებული ცეოლიტი Mn²⁺Z. II სტადიაზე ცეოლიტის კარკასში ჩამჯდარი Mn²⁺ იონები იჟანგება MnO₂-მდე NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით მიღებული NaClO-ს საშუალებით:



პროცესების (1) და (2) ჯამური განტოლება შემდეგნაირად გამოისახება:



განტოლების (3) თანახმად MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღება მიმდინარეობს ცეოლიტის კარკასში ჩამჯდარი Mn²⁺ იონების არაპირდაპირი ელექტროქიმიური ჟანგვით, სადაც მედიატორის ფუნქციას ასრულებს სისტემა NaCl - NaClO.

ხერხის გამოყენებით მიიღწევა მჟანგავის NaClO-ს მნიშვნელოვანი გაიაფება, რაც განპირობებულია იმით, რომ რეაქციის (2) შედეგად მიმდინარეობს ელექტროლიზით მისი წარმოებისათვის საჭირო ნედლეულის NaCl-ის სრული რეგენერაცია. ასევე მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ NaClO მიიღება

უშუალოდ მისი მოხმარების ადგილზე, რაც გამოიცხავს ამ არამდგრადი ნაერთის ტრანსპორტირებითა და შენახვით განპირობებულ გარდაუვალ დანაკარგებს.

ხერხი იძლევა NaCl-ის ორი დანიშნულებით გამოყენების საშუალებას: მისი წყალხსნარის ელექტროლიზით მიიღება მჟანგავი NaClO და, ამავე დროს, იგი ხელს უწყობს ცეოლიტის ზედაპირზე MnO₂-ის ქიმიურად ბმული მდგრადი ფენის წარმოქმნას. ეს დადებითი ეფექტი აღწერილია სამუშაოებში [3], [4], სადაც მჟანგავად გამოყენებული KMnO₄-ის ხსნარი შეიცავს დაახლოებით 10–20 გ/ლ NaCl. ცეოლიტის კარკასში ჩამჯდარი Mn²⁺ იონების ასეთ პირობებში ჟანგვით მკვეთრად მცირდება ცეოლიტის ზედაპირზე სუსტად ბმული MnO₂-ის რაოდენობა და იზრდება მფილტრავი მასალის ეფექტიანობა.

ძირითადი ნაწილი

არაპირდაპირი ელექტროქიმიური ჟანგვის მეტოდით ცეოლიტის მოდიფიცირების პროცესში ამ ეფექტის მისაღწევად და NaClO-ს მჟანგავ ხსნარში NaCl-ის კონცენტრაციის მითითებულ ზღვრებში შესანარჩუნებლად, ელექტროლიზის პროცესში NaCl-ის საწყისი კონცენტრაცია არ უნდა აღემატებოდეს 20-25 გ/ლ. ამრიგად, ცეოლიტის MnO₂-ით მოდიფიცირებისა და ელექტროლიზით NaClO-ს მიღების პროცესების ტექნოლოგიური პარამეტრების სინქრონიზაციის მიზნით აუცილებელია ჩატარდეს დაბალი კონცენტრაციის NaCl-ის წყალხსნარების ელექტროლიზით NaClO-ს მიღების პროცესის კვლევა.

NaClO-ს მიღების ელექტროქიმიური მეთოდის თეორია და პრაქტიკა დაწვრილებით არის აღწერილი ლიტერატურაში [5-10]. ლიტერატურული წყაროების მონაცემების შედარებითი ანალიზით შეიძლება დავასკვნათ, რომ NaClO-ს დენით გამოსავლის გაზრდას ხელს უწყობს NaCl-ის მაღალი კონცენტრაცია ელექტროლიტში, მაღალი ანოდური დენის სიმკვრივე და ელექტროლიტის დაბალი ტემპერატურა. ამ პრინციპებიდან გამომდინარე, NaClO-ს მიღების ოპტიმალური პირობებია: ელექტროლიტში NaCl-ის საწყისი კონცენტრაცია – 15–17%, ანოდური დენის სიმკვრივე – 1400 ა/მ², ელექტროლიტის ტემპერატურა – 20–25°C. ელექტროლიზის შედეგად მიღებულ ხსნარში აქტიური ქლორის კონცენტრაციაა 12–14 გ/ლ. ძაბვა ელექტროლიზერზე შეადგენს 3,7–4,2 ვოლტს. აქტიურ ქლორზე ელექტრული ენერჯის კუთრი ხარჯია 5–6 კვტ.სთ/კგ.

ცეოლიტის MnO₂-ით მოდიფიცირების პროცესში მჟანგავ ხსნარში NaCl-ის კონცენტრაციის ოპტიმალური სიდიდე (10–20 გ/ლ) მკვეთრად განსხვავდება ელექტროლიზისათვის ოპტიმალურად მიჩნეული სიდიდისგან (160–180 გ/ლ). ცეოლიტის MnO₂-ით მოდიფიცირების არაპირდაპირი ელექტროქიმიური ჟანგვის მეთოდის პრაქტიკული რეალიზაცია შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ელექტროლიზით NaClO-ს მისაღებად გა-

მოყენებული იქნება დაბალი კონცენტრაციის 20–25 გ/ლ NaCl-ის ხსნარი.

NaCl-ის დაბალი კონცენტრაციის წყალხსნარის ელექტროლიზი, უპირველეს ყოვლისა, გამოიწვევს ელექტროლიტის ელექტრული გამტარობის შემცირებასა და ელექტროლიზერზე ძაბვის გაზრდას. მეორე უარყოფითი მოვლენაა NaClO-ს დენით გამოსავლის შემცირება, რადგან Cl⁻ იონების დაბალი კონცენტრაციის პირობებში ანოდზე უპირატესად მიმდინარეობს წყლის მოლეკულის ჟანგვის კონკურენტული რეაქცია აირადი ჟანგბადის გამოყოფით.

ელექტრული ენერჯის ხარჯის განმსაზღვრელი ორივე ფაქტორი – ძაბვა ელექტროლიზერზე და მიზნობრივი პროდუქტის დენით გამოსავალი, შედარებით განზავებული NaCl-ის წყალხსნარების ელექტროლიზის პირობებში, არასასურველი მიმართულებით იცვლება და განაპირობებს ელექტრული ენერჯის კუთრი ხარჯის მკვეთრ ზრდას.

ამ პრობლემის გადაჭრის ეფექტიან გზად მიგვაჩნია ელექტროლიზით NaClO-ს დაბალი კონცენტრაციის ხსნარების მიღება. ეს მოსაზრება ეყრდნობა ლიტერატურულ მონაცემებს [5–10], რომლის თანახმადაც, რაც უფრო დაბალია NaClO-ს კონცენტრაცია ელექტროლიზის შედეგად მიღებულ ხსნარში, მით მეტია მისი დენით გამოსავალი და ნაკლებია ელექტრული ენერჯის კუთრი ხარჯი (ცხრ. 1).

NaClO-ს მიღება NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით [10]

ელექტროლიზი ტარდება ოპტიმალურ სამრეწველო პირობებში: NaCl-ის საწყისი კონცენტრაციაა 15–17%, ანოდური დენის სიმკვრივე –1400 ა/მ², t=20-25°C

ელექტროლიზის შედეგად მიღებულ ხსნარში აქტიური ქლორის კონცენტრაცია, გ/ლ	აქტიური ქლორის დენით გამოსავალი, %	აქტიურ ქლორზე ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯი, კვტ.სთ/კგ	აქტიურ ქლორზე NaCl-ის კუთრი ხარჯი, კგ/კგ
2,55	95,0	3,31	68,6
3,59	82,4	3,82	37,0
5,90	72,1	4,36	28,8
7,41	68,2	4,61	22,9
8,82	64,8	4,85	19,3
10,5	61,9	5,08	16,2
12,3	56,7	5,54	13,8
14,3	52,8	5,96	11,9

პირველი ცხრილის მონაცემებიდან გამომდინარე, ოპტიმალურ სამრეწველო პირობებში აქტიური ქლორის მაქსიმალური დენით გამოსავალი მიიღწევა მაშინ, როდესაც მისი კონცენტრაცია ელექტროლიზის შედეგად მიღებულ ხსნარში მინიმალურია და 2,55გ/ლ შეადგენს. ამავე დროს, NaClO-ს განზავებული ხსნარების ეფექტიანად გამოყენება შეიძლება ცეოლიტის კარკასში ჩამჯდარი Mn²⁺ იონების დასაყანგავად. ლიტერატურული მონაცემების თანახმად, ამ პროცესს ყოველთვის ატარებენ მჟანგავის განზავებული ხსნარებით [3; 4]. ხშირად გამოყენებული მჟანგავის KMnO₄-ის კონცენტრაცია წყალხსნარში არ აღემატება 0%-ს. NaClO-ს განზავებული წყალხსნარების გამოყენება რეკომენდირებულია პატენტებში [11], [12], სადაც შესწავლილია γ -მოდულიფიკაციის MnO₂-ის მიღების პროცესი MnCl₂-ის ხსნარების სხვადასხვა ლითონის ჰიპოქლორიტებით დაჟანგვის გზით.

წარმოდგენილი სამუშაოს მიზანია დაბალი კონცენტრაციის NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღების ისეთი ოპტიმალური პირობების შემუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფს ამ პროდუქტის კონკურენტუნარიანი ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრების შენარჩუნებას, უპირველეს ყოვლისა, ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯის ოპტიმიზაციის თვალსაზრისით.

კვლევის მეთოდი

NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზი ტარდებოდა ორგანული მინისაგან დამზადებულ 1200 სმ³ მოცულობის მართკუთხედის ფორმის ელექტროლიზერში. ელექტროლიზერში ხსნარის მოცულობა იყო 918 მლ. ანოდი მოთავსებული იყო 2 კათოდს შორის, ანოდსა და კათოდებს შორის მანძილი – 3–3 სმ. ანოდად გამოყენებული იყო რუთენიუმისა და ტიტანის ოქსიდებით მოდიფიცირებული ტიტანის

ფირფიტა (ინგლისური აბრევიატურა ORTA), ხოლო კათოდად – უჟანგავი ფოლადის ფირფიტა. ანოდისა და კათოდის ფართობები ტოლია და უდრის 0,0126 მ². ელექტროლიტში 20–25°C ტემპერატურის შენარჩუნების მიზნით ელექტროლიზერში ჩაშვებული იყო წყლის კლაკნილა მაცივარი. ელექტროლიზი ტარდებოდა პერიოდულ რეჟიმში.

აქტიური ქლორის რაოდენობრივი განსაზღვრა ტარდებოდა ცნობილი მეთოდით [13]. დენით გამოსავლის გასაანგარიშებლად გამოყენებულია ფორმულა:

$$\eta = \frac{m \cdot 26,8}{Q \cdot 35,45} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

სადაც m არის ელექტროლიზის შედეგად წარმოქმნილი აქტიური ქლორის მასა, გ;

Q – ელექტრობის რაოდენობა, ა.სთ;

26,8 – ფარადეის რიცხვი, ა.სთ;

35,45 – აქტიური ქლორის 1 გ-ეკვივალენტი, გ.

აქტიური ქლორის მიღებაზე ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯის გასაანგარიშებლად გამოყენებულია ფორმულა:

$$W = \frac{V \cdot 26,8}{35,45 \cdot \eta}, \quad (2)$$

სადაც W არის ელექტრული ენერჯის კუთრი ხარჯი კვტ.სთ/კგ;

V – ძაბვა ელექტროლიზერზე, ვ.

ექსპერიმენტის შედეგები და მათი განსჯა

ლიტერატურული მონაცემების ანალიზით დადგინდა დაბალი კონცენტრაციის NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს განზავებული ხსნარების მიღების მიზანშეწონილობა, კერძოდ, მისი კონცენტრაცია არ უნდა აღემატებოდეს 2,55 გ/ლ. ასეთი კონცენტრაციის ხსნარები სავსებით შესაბამეა ცეოლიტში ჩანაცვლებული Mn²⁺ იონების MnO₂-მდე ჟანგვის პროცესის ოპტიმალურ პირობებს და, ამავე დროს, ხელს შეუწყობს დენით გამოსავლისა და ელექტრული ენერჯის კუთრი ხარჯის ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით დამაკმაყოფილებელი მნიშვნელობების მიღწევას.

აქტიური ქლორის დენით გამოსავლის, ძაბვისა და ელექტრული ენერჯის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება NaCl-ის საწყის კონცენტრაციასა და ანოდური დენის სიმკვრივეზე ნაჩვენებია 2–5 ცხრილებსა და 1–6 სურათებზე.

ცხრილი 2

NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღება

$$I=2,52 \text{ ა}; \tau = 0,75 \text{ სთ}; Q=1,89 \text{ ა.სთ}; i_A = 200,0 \text{ ა/მ}^2$$

NaCl-ის საწყისი კონცენტრაცია, გ/ლ	ძაბვა, ვ	აქტიური ქლორის კონცენტრაცია და მასა		აქტიური ქლორის დენით გამოსავალი, %	ელექტრული ენერჯის კუთრი ხარჯი, კვტ.სთ/კგ
		გ/ლ	გ		
10,1	9,1	1,97	1,81	72,4	9,50
15,2	7,2	2,02	1,85	74,0	7,36
20,0	6,0	2,04	1,87	74,8	6,06
25,1	5,2	2,09	1,92	76,5	5,12

NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღება

$I=3,8\text{ა}; \tau = 0,5\text{სთ}; Q=1,9 \text{ ა.სთ}; i_A=301,6 \text{ ა/მ}^2$

NaCl-ის საწყისი კონცენტრაცია, გ/ლ	მაზვავ	აქტიური ქლორის კონცენტრაცია და მასა		აქტიური ქლორის დენით გამოსავალი, %	ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯი, კვტ.სთ/კგ
		გ/ლ	გ		
10,1	13,2	2,11	1,94	77,3	12,91
15,2	10,3	2,16	1,98	78,8	9,88
20,0	8,1	2,20	2,02	80,5	7,61
25,1	6,2	2,25	2,07	82,5	5,68

NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღება

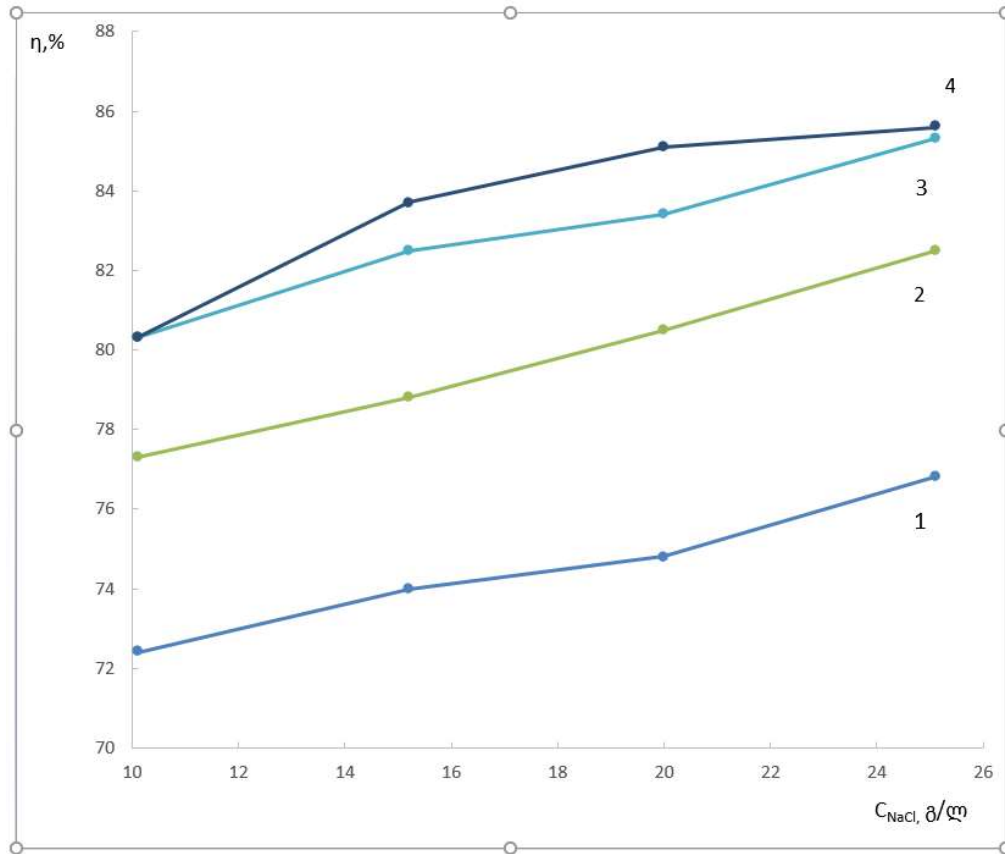
$I=5,0\text{ა}; \tau = 0,33\text{სთ}; Q=1,65 \text{ ა.სთ}; i_A=396,8 \text{ ა/მ}^2$

NaCl-ის საწყისი კონცენტრაცია, გ/ლ	მაზვავ	აქტიური ქლორის კონცენტრაცია და მასა		აქტიური ქლორის დენით გამოსავალი, %	ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯი, კვტ.სთ/კგ
		გ/ლ	გ		
10,1	16,4	1,90	1,75	80,3	15,43
15,2	12,5	1,96	1,80	82,5	11,45
20,0	9,8	1,98	1,82	83,4	8,88
25,1	7,2	2,03	1,86	82,3	6,38

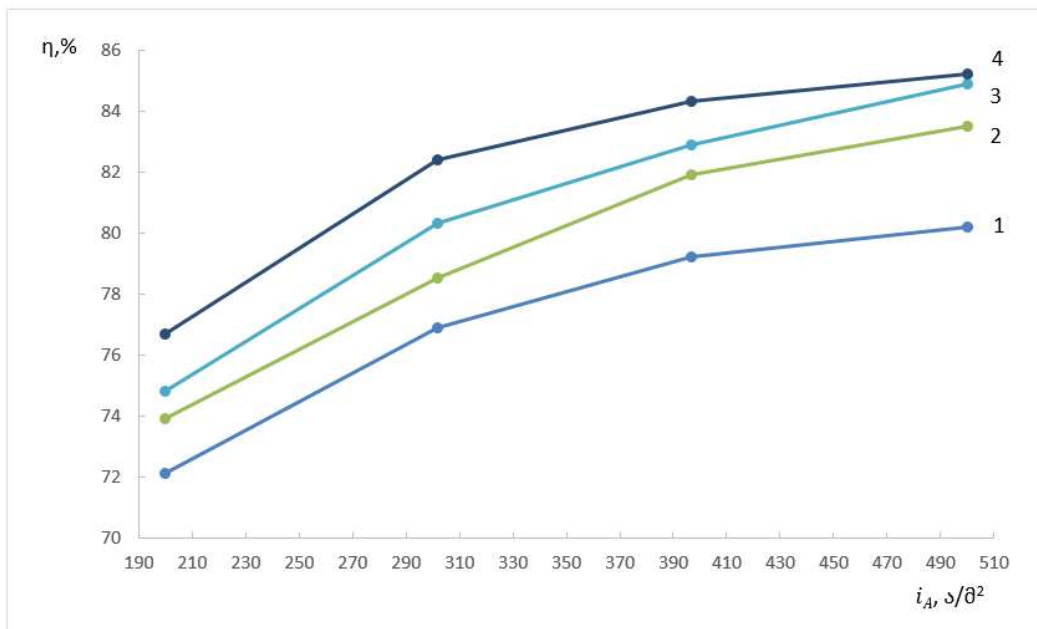
NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღება

$I=6,3\text{ა}; \tau = 0,25\text{სთ}; Q=1,575 \text{ ა.სთ}; i_A=500,0 \text{ ა/მ}^2$

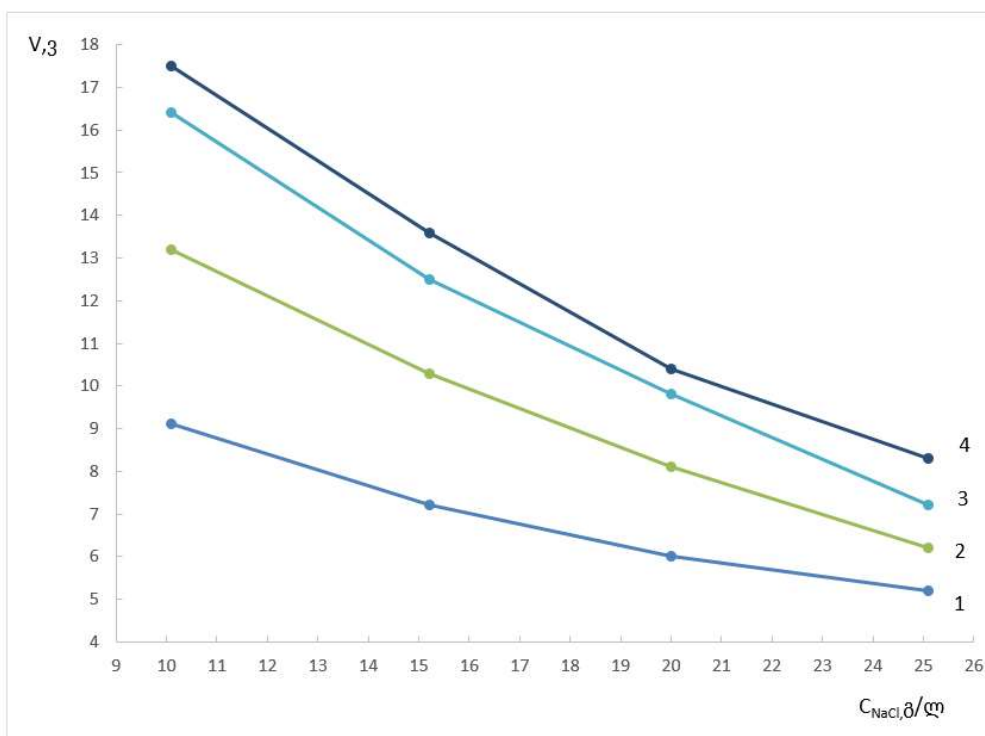
NaCl-ის საწყისი კონცენტრაცია, გ/ლ	მაზვავ	აქტიური ქლორის კონცენტრაცია და მასა		აქტიური ქლორის დენით გამოსავალი, %	ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯი, კვტ.სთ/კგ
		გ/ლ	გ		
10,1	17,5	1,82	1,67	80,3	16,47
15,2	13,6	1,90	1,74	83,7	12,28
20,0	10,4	1,93	1,77	85,1	9,24
25,1	8,3	1,94	1,78	85,6	7,33



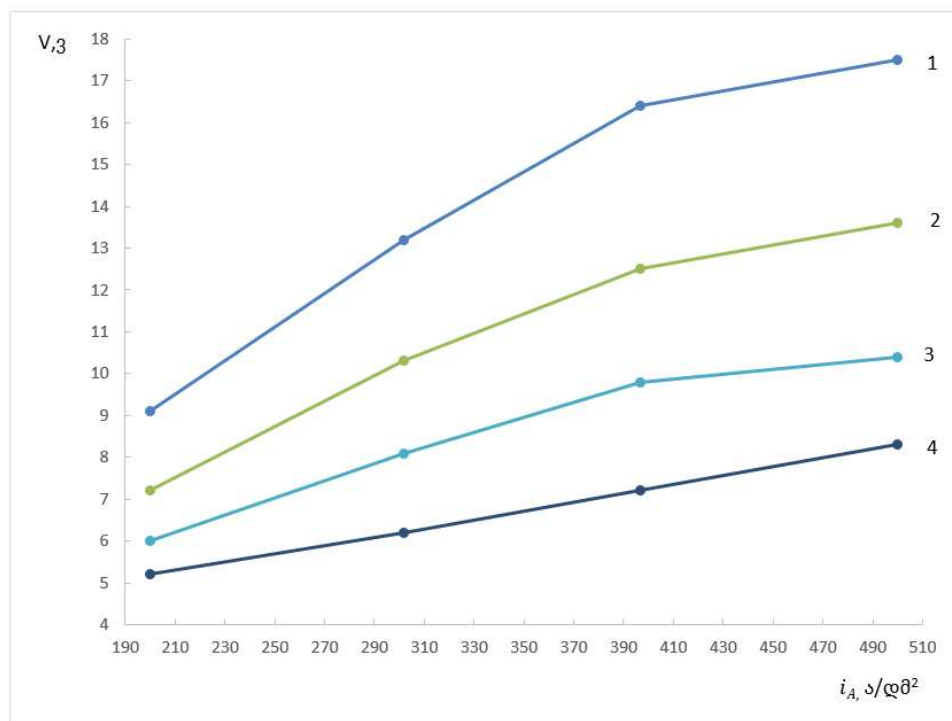
სურ. 1. აქტიური ქლორის დენით გამოსავლის (η,%) დამოკიდებულება NaCl-ის ხსნარის კონცენტრაციაზე (C_{NaCl} , გ/ლ). ანოდური დენის სიმკვრივე, ა/მ²: 1) 200,0; 2) 301,6; 3) 396,8; 4) 500,0.



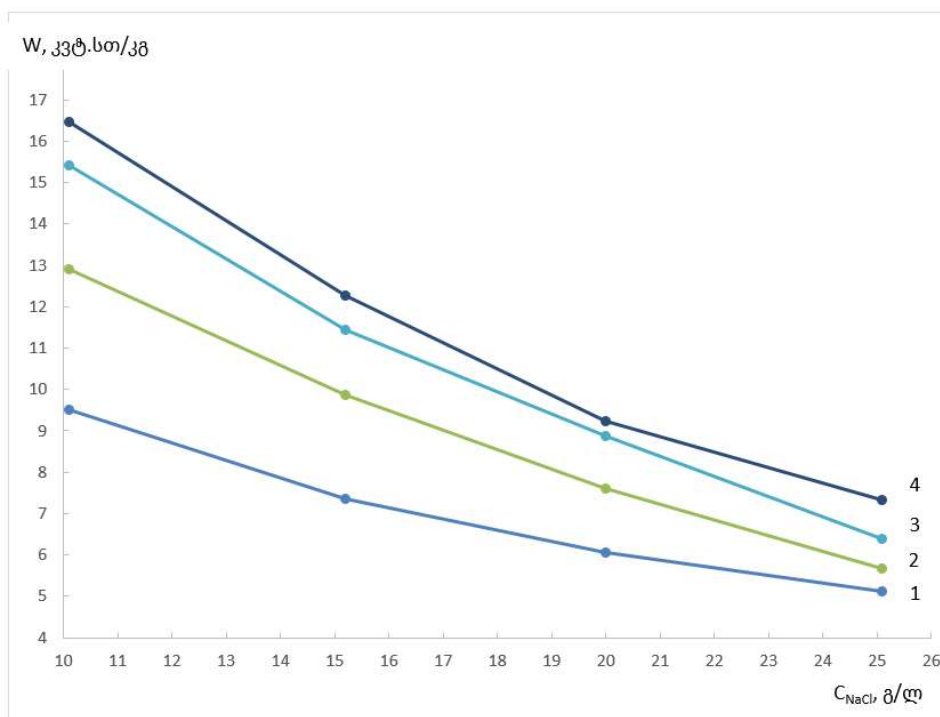
სურ. 2. აქტიური ქლორის დენით გამოსავლის (η,%) დამოკიდებულება ანოდური დენის სიმკვრივეზე (i_A , ა/მ²). NaCl-ის ხსნარის კონცენტრაცია, გ/ლ: 1) 10,1; 2) 15,2; 3) 20,0; 4) 25,1.



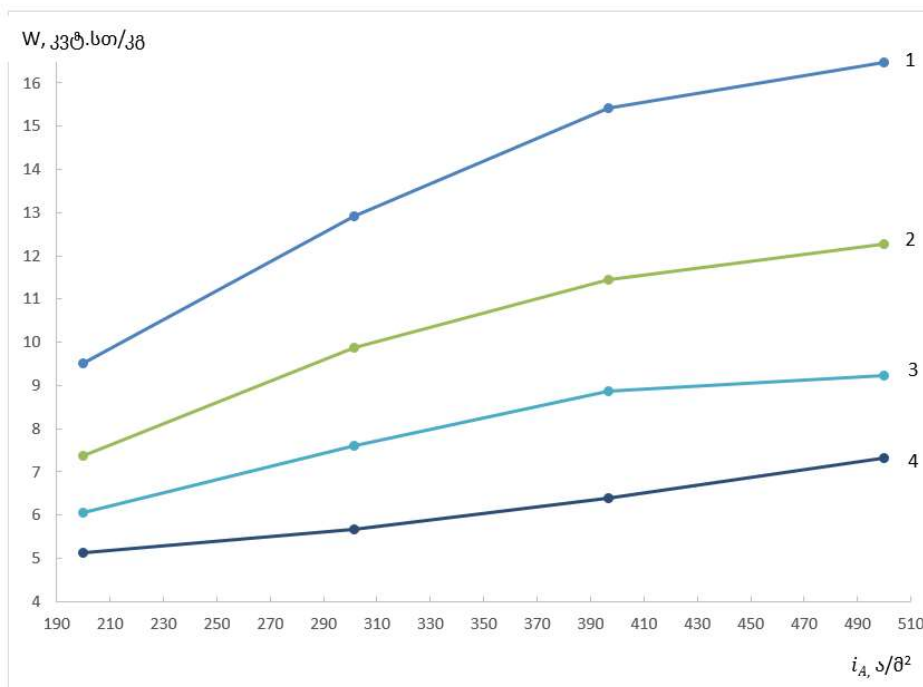
სურ.3. ელექტროლიზერზე ძაბვის (V,ვ) დამოკიდებულება NaCl-ის ხსნარის კონცენტრაციაზე ($C_{NaCl}, გ/ლ$). ანოდური დენის სიმკვრივე, ა/მ²: 1) 200,0; 2) 309,6; 3) 396,8; 4) 500,0.



სურ. 4. ელექტროლიზერზე ძაბვის (V,ვ) დამოკიდებულება ანოდური დენის სიმკვრივეზე ($i_A, ა/დმ²$). NaCl-ის ხსნარის კონცენტრაცია გ/ლ: 1) 10,1; 2) 15,2; 3) 20,0; 4) 25,1.



სურ. 5. ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯის (W, კვტ.სთ/კგ) დამოკიდებულება NaCl-ის ხსნარის კონცენტრაციაზე (C_{NaCl}, გ/ლ). ანოდური დენის სიმკვრივე, ა/მ²: 1)200,0; 2)301,6; 3)396,8; 4)500,0.



სურ. 6. ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯის (W, კვტ.სთ/კგ) დამოკიდებულება ანოდური დენის სიმკვრივეზე, (i_A, ა/მ²). NaCl-ის კონცენტრაცია, გ/ლ)1)10,1;2)15,2; 3)20,0; 4)25,1.

NaClO-ს კონცენტრაციის გაზრდით 10-დან 25 გ/ლ-მდე აქტიური ქლორის დენით გამოსავალი მცირედ იზრდება – დაახლოებით 1,06–1,07-ჯერ. შედარებით უფრო მეტ გავლენას აქტიური ქლორის დენით გამოსავალზე ახდენს ანოდური დენის სიმკვრივის ცვლილება. 200-დან 500 ა/მ²-მდე ანოდური დენის სიმკვრივის მატება იწვევს აქტიური ქლორის დენით გამოსავლის 1,11–1,14-ჯერ გაზრდას. მიღებული ექსპერიმენტული შედეგები აიხსნება ქლორიდების ელექტროლიზის თეორიით, რომლის თანხმადაც ქლორიდიონების კონცენტრაციის გაზრდა ხელს უშლის ანოდზე კონკურენტული პროცესის – წყლის მოლეკულის აირად ჟანგბადამდე ჟანგვის რეაქციას და ხელს უწყობს ქლორიდიონის აქტიურ ქლორამდე ჟანგვის პროცესს. ასევე ცნობილია, რომ ანოდური დენის სიმკვრივის გაზრდით უპირატესად იზრდება ანოდზე ჟანგბადის გადაძაბვა. ამრიგად, თეორიულად NaCl-ის კონცენტრაციისა და ანოდური დენის სიმკვრივის გაზრდა დადებით გავლენას ახდენს აქტიური ქლორის დენით გამოსავალზე, რაც ექსპერიმენტულად დასტურდება.

ლიტერატურული მონაცემების თანახმად, სამრეწველო პირობებში მიღებულ მზა პროდუქტში აქტიური ქლორის კონცენტრაცია შეადგენს 14–15 გ/ლ-ს, ხოლო აქტიური ქლორის დენით გამოსავალი – 52–53%-ს. მიუხედავად იმისა, რომ ელექტროლიზის პი-

რობები (NaCl-ის წყალხსნარის დაბალი კონცენტრაცია) მკვეთრად განსხვავდებოდა სამრეწველო ოპტიმალური პირობებისაგან, აქტიური ქლორის დენით გამოსავლის მიღებული მნიშვნელობები – 72–86% აღემატება სამრეწველო მაჩვენებლებს და იგი სავსებით დამაკმაყოფილებლად შეიძლება მივიჩნიოთ. ეს დადებით შედეგი განპირობებულია იმით, რომ შემოთავაზებულ პროცესში აქტიური ქლორის კონცენტრაცია ხსნარში არ აღემატება 2,0–2,3 გ/ლ-ს, რასაც შეესაბამება 2,10–2,42 გ/ლ NaClO.

NaCl-ის კონცენტრაციის შემცირებამ ხსნარში მკვეთრად უარყოფითი გავლენა მოახდინა ელექტროლიზერის ძაბვის მნიშვნელობაზე. NaCl-ის 25,1-დან 10,1 გ/ლ-მდე შემცირებით ძაბვა ელექტროლიზერზე 1,75–2,30-ჯერ გაიზარდა. ეს უარყოფითი ეფექტი მით უფრო მკვეთრად არის გამოხატული, რაც მეტია ანოდური დენის სიმკვრივე. ძაბვის მინიმალური მნიშვნელობა 5,2 ვ მიიღწევა 25,1 გ/ლ NaCl-ის ხსნარში, როდესაც ანოდური დენის სიმკვრივეა 200,0 ა/მ², ხოლო ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა 17,5 ვ დაფიქსირდა 10,1 გ/ლ NaCl-ისა და 500,0 ა/მ² დენის სიმკვრივის პირობებში. ძაბვის გაზრდის უარყოფითი ეფექტი, უპირველეს ყოვლისა, განპირობებულია NaCl-ის ხსნარის ელექტრული გამტარობის ვარდნით, რაც, თავის მხრივ, გამოწვეულია ხსნარში NaCl-ის კონცენტრაციის შემცირებით (ცხრ. 6).

NaCl-ის ხსნარის კუთრი და ეკვივალენტური ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება
კონცენტრაციაზე [14,15]

NaCl-ის კონცენტრაცია, მას.%	კუთრი ელექტროგამტარობა, ომი ⁻¹ მ ⁻²	ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა, ომი ⁻¹ მ ² გ.ეკვ ⁻¹
1	1,01	0,00824
5	6,72	0,00760
10	12,11	0,00662
15	16,42	0,00578
20	19,57	0,00499
25	21,35	0,00420
26	21,51	0,00404

კუთრი ელექტროგამტარობის ვარდნა განსაკუთრებით შესამჩნევია NaCl-ის კონცენტრაციის 10%-დან შემცირების შემდეგ. 1%-იან ხსნარში (დაახლოებით 10 გ/ლ NaCl) ელექტროგამტარობა 10%-იან ხსნართან შედარებით თითქმის 12-ჯერ მცირდება. ეკვივალენტური ელექტროგამტარობის უმნიშვნელო (0,00662-დან 0,00824 ომი⁻¹. მ² გ.ეკვ⁻¹) ზრდა NaCl-ის კონცენტრაციის შემცირებით განპირობებულია ამ სიდიდის ფიზიკური არსით: ხსნარის განზავებით იზრდება იმ ორი ელექტროდის ფართობი, რომელთა შორის მანძილია 1 მ, ხოლო მათ შორის მოქცეული ხსნარი შეიცავს 1 გ.ეკვ. NaCl.

ელექტროლიზურზე ძაბვის მნიშვნელობა განსაზღვრავს ელექტროენერგიის კუთრი ხარჯის სიდიდეს და ამიტომ ელექტროენერგიის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება ხსნარში NaCl-ის კონცენტრაციასა და ანოდური დენის სიმკვრივის მნიშვნელობაზე ანალოგიური დამოკიდებულებით ხასიათდება. ელექტრული ენერგიის მაქსიმალური კუთრი ხარჯი 16,47 კვტ.სთ/კგ დაფიქსირდა 10,1 გ/ლ NaCl-ის ხსნარში 500,0 ა/მ² ანოდური დენის სიმკვრივის პირობებში, ხოლო მინიმალური ხარჯი მიღ-

წულ იქნა 25,1 გ/ლ NaCl-ის ხსნარში 200,0 ა/მ² ანოდური დენის სიმკვრივის პირობებში და იგი 5,12 კვტ.სთ/კგ-ის ტოლია.

სამრეწველო ელექტროლიზის დროს, როდესაც NaClO-ს მიღება მიმდინარეობს ოპტიმალურ პირობებში ($C_{NaCl} = 15-17\%$; $i_A = 1400$ ა/მ²; აქტიური ქლორის კონცენტრაცია 12-14 გ/ლ; დენით გამოსავალი 52-57%) 1 კგ აქტიურ ქლორზე ელექტრული ენერგიის ხარჯი 5-6 კვტ.სთ/კგ შეადგენს. ამრიგად, შემუშავებული მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ელექტროლიზის პროცესის დამთავრებას 2,0-2,3 გ/ლ აქტიური ქლორის მიღებით, საშუალებას იძლევა შევინარჩუნოთ ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯის დაბალი მნიშვნელობა 5,12-7,62 კვტ.სთ/კგ, რომელიც ოპტიმალურ სამრეწველო პირობებში მიღებული ანალოგიური მახასიათებლის თანაზომადია.

ექსპერიმენტის მონაცემების შეჯერებით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ არაპირდაპირი ელექტროქიმიური ჟანგვის მეთოდით ცეოლიტის MnO₂-ით მოდიფიცირების პროცესში NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზის ოპტიმალური პირობებია: NaCl-ის კონცენტრაცია 20-25 გ/ლ; ანოდური დენის სიმ-

კვრივე 200–300 ა/მ²; აქტიური ქლორის კონცენტრაცია ელექტროლიზით მიღებულ ხსნარში 2,0–2,3 გ/ლ; ელექტროლიტის ტემპერატურა 20–25°C, ამ პირობებში აქტიური ქლორის დენით გამოსავალია 74,8–82,5%, ხოლო ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯია 5,12–7,61 კვტ.სთ/კგ.

დასკვნა

შემუშავებულია ოპტიმალურისაგან განსხვავებულ პირობებში, კერძოდ, 20–25 გ/ლ NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზით NaClO-ს მიღების მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს პროდუქტის

კონკურენტუნარიან ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შენარჩუნებას. მეთოდის სიახლე ისაა, რომ ელექტროლიზი მთავრდება NaClO-ს განზავებული ხსნარების მიღებით. ელექტროლიზით მიღებულ ხსნარში NaClO-ს კონცენტრაციაა 2,1–2,4 გ/ლ. 200–300 ა/მ² ანოდური დენის სიმკვრივის პირობებში ძაბვა ელექტროლიზერზე 5,2–8,1 ვ-ის ზღვრებშია, ხოლო ელექტრული ენერგიის კუთრი ხარჯი 5,12–7,61 კვტ.სთ/კგ-ის ტოლია, რაც უტოლდება ოპტიმალურ სამრეწველო პირობებში მიღებულ სიდიდეს.

ლიტერატურა

1. Agladze, T., Shengelia, J., Gabrichidze, M., Donadze, M. (n.d). *Geopotent GEP 20135952B*. Tbilisi: Georgia. Preparation method of zeolite modified with manganese dioxide.
2. Shengelia, J., Galogre, G. (2021). Preparation and testing of zeolite modified with high chemical stability manganese dioxide for drinking water purification. *Journal of the Georgian Ceramists' Association*, 23.2(46), 82-93.
3. Tarasevich, I. I., Polyakov, V. E., Ivanova, Z.G., Krisenko, D. A. (2008) Preparation of klinoptilolite modified with manganese dioxide. *Chemistry and technology of water*, 30(2), 159-170.
4. Polyakov, V. E., Ostanenko, V. T., Polyakova, I. G., Tarasevich, I. I., Shavgay, A. S., Kulishenko, A. E. (1997). *Patent of Russian federation 2091158*. Moscow: Russia. Method for obtaining a filter material for removing manganese ions. (In Russian);
5. Pletcher, D. Walch, F. C. (1990). *Industrial Electrochemistry. Second Edition*. p. 653.
6. Stender, V.V (1961). *Applied electrochemistry*. p.541. (In Russian);
7. Billiter, Z. (1959). *Industrial electrolysis of water solutions*. pp.406. (In Russian);
8. Fedotev, N.P., Alabishev, A.L., Rotinyan, A.L. (1962). *Applied electrochemistry*. p. 635. (In Russian);
9. Zaretski, S. A., Suchkov, V. N., Shlyapnikov, V. A. (1970). *Technology of electrochemical productions*. p. 307. (In Russian);
10. Khomyakov, N. E., Mashovets, V.P., Kuzmin, L.L. (1949). *Technology of electrochemical productions*. p. 660. (In Russian);
11. Moore, W.G. (1969). *United States Patent 3.437.435*. Method of Preparing Manganese Dioxide.
12. Heinz, H., Artur, M. (1965). *Deutches Patentamt. Patentschrift 1205067*.
13. Borodulina, E.K., Ilyicheva, I.A., Shraibman, S.S. (1979). *Technical analysis and control of electrochemical production of inorganic substances*. p. 315. (In Russian);
14. Dobos, M. (1980). *Electrochemical Data*. (In Russian);
15. *Chemist's Handbook*. (1965). (In Russian).

UDC 546. 544

SCOPUS CODE 1603

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-4-33-45>

Preparation of NaClO by the Means of Electrolysis of NaCl Diluted Solutions

Jemal Shengelia

Department of Chemical and Biological Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.

E-mail: j.shengelia@gtu.ge

Guram Galogre

Department of Chemical and Biological Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.

E-mail: guramigalogre@gmail.com

Reviewers:

D. Eristavi, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: d.eristavi@gtu.ge

M. Donadze, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: m.donadze@gtu.ge

Abstract. The work aims to develop a method for producing NaClO by electrolysis of 20–25 g/L NaCl aqueous solution under conditions other than optimal, ensuring the maintenance of competitive technical and economic indicators of this product, primarily in terms of specific electric energy consumption. NaClO produced by electrolysis of a low concentration NaCl aqueous solution is used in the process of modifying zeolite with MnO₂ by indirect electrochemical oxidation, where the mediator is the redox system NaCl – NaClO. Optimal conditions for producing NaClO by electrolysis of aqueous solution of 20–25 g/L NaCl are determined: concentration of available chlorine in the solution produced by electrolysis – 2.0–2.3 g/L; Anodic current density – 200–300 A/m²; Electrolyte temperature – 20–25°C. Under these conditions, the available chlorine yield is 74.8–82.5%, and the specific electric energy consumption is 5.12–7.61 kWh/kg, which is equal to the value of a similar characteristic obtained under optimal industrial conditions.

Keywords: active chlorine; current density; current efficiency; electrolysis.

განხილვის თარიღი 27.05.2022

შემოსვლის თარიღი 12.10.2022

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 16.12.2022