

Akustiskās emisijas metodes izmantošana kristālisko vielu izšķīdināšanas procesa izpētei

Alexander Urbach¹, Mukharbiy Banovs², Yevhen Harbuz³, Vladimirs Zujevs⁴, Riga Technical University^{1,4,6}, Nikolay Khodos⁵, SIA "InterSpecMet"⁵, Juriy Feshchuk⁶

Kopsavilkums. Veicot kristālisko vielu šķīdināšanas pētījumus, rodas grūtības šķīšanas procesa stadijas noteikšanai. Šim nolūkam parasti izmanto ierīces, kuras domātas blīvuma mērīšanai, vai svarus, kuri ļauj noskaidrot vēl neizšķīdinātās vielas lielumu. Bet abām metodēm piemīt trūkumi (grūtības neliela vielas daudzuma mērīšanai, mērīšanas aparātūras augstā cena un neuniversālums). Akustiskās emisijas (AE) metodes pielietošana ļauj veikt šķīšanas procesu pētījumus neatkarīgi no vielas apjoma lieluma un neprasa speciālu nosacījumu veidošanu.

Atslēgas vārdi: akustiskā emisija, kristāliskās vielas, šķīdināšana, kristāliskais režģis, elektrolīts un neelektrolīts.

I. IEVADS

Akustiskās emisijas izcelsmes iemesls saistīts ar cieto vielu deformēšanas un bojāšanas mikroprocesu [1]. Šī metode ieguva lielu izplatību, pētot cietās vielas. Tā AE pielieto, lai atklātu un noteiktu akustiskās emisijas avotu koordinātas, kā arī objekta monitoringam. Pēdējo gadu pētījumi ir saistīti arī ar kristālu kristalizācijas un šķīšanas šķīdumā un kausējumā izpēti.

Šķīdumā notiekošo fizikāli – ķīmisko procesu izpētei ir nepieciešama tādu metožu izstrādāšana, kas dos iespēju saņemt informāciju, kuru nevar saņemt ar tradicionālām metodēm. Šim mērķim ir apgūta AE metode, kuru izmanto pie tiešās plaisu veidošanās atklāšanas trauku, cauruļu un armatūras aiztecēs [2].

Pašlaik ir pieņemts, ka kristālisko vielu šķīšanas procesa grafikam ir monotons raksturs [3].

Šķīšanas procesa monotonā rakstura piekritēji apskata AE signālu aktivitātes izmaiņas dinamiku laika periodā kā monotonu funkciju. Tā kā AE signālu inducēšanas raksturs šķīšanas procesā nav noskaidrots un eksistē dažādas šo efektu alternatīvas interpretācijas, viņi apstājas pie kopējiem pieņēmumiem, kas tiek pamatoti ar pieņēmumiem, ka šķīšanas laikā inducēto AE signālu skaits (N_{ae}) ir proporcionāls izšķīdinātās vielas masai (M):

$$N_{ae} \approx f(M) \quad (1)$$

Attiecīgi AE signālu aktivitāte $\frac{dN_{ae}}{dt}$ ir proporcionāla masas izmaiņas ātrumam:

$$\frac{dN_{ae}}{dt} = k \frac{dM}{dt} \quad (2)$$

kur k – proporcionalitātes koeficients.

Jebkura laika momentā (t) kristāla masa ir vienāda ar (M), bet kristāla masas šķīšanas ātrums ir vienāds

ar $-\frac{dM}{dt}$. Tā kā šķīšanas ātrums ir proporcionāls kristāla masai, tiek iegūts sekojošs procesa diferenciālvienādojums:

$$-\frac{dM}{dt} = kM \quad (3)$$

kur k - proporcionalitātes koeficients.

Vai izmantojot sakarības (1) un (2):

$$-\frac{dN_{ae}}{dt} = kN_{ae} \quad (4)$$

kur k - proporcionalitātes koeficients.

Integrējot šo vienādojumu, tiek iegūts vispārīgs risinājums:

$$N_{ae} = Ce^{-kt} \quad (5)$$

Lai precizētu augstākminēto pieņēmumu, tika veikta AE uzvedības rakstura izpēte kristālisko vielu šķīšanas procesā, jo šajā procesā notiek kristālisko struktūru izjaukšana, kas rada akustisku emisiju.

II. APARATŪRA

Ierīce AF - 15 ir divu kanālu reģistrators, kas nodrošina summāras AE mērīšanu (palaišanas strīpa 20 kHz – 2,0 MHz).

Kā AE adapters tika izvēlēts piezopārveidotājs P113 – (0,02 – 0,2) ar frekvences diapazonu no 20 kHz līdz 200 kHz.

III. IZPĒTES METODIKA

Mērīšanas karotē 4 (1. att.) novietoja kristālisko vielu. Pēc tam traukā no kvarca stikla 3 ar ūdeni 5, kas tika nostiprināts staīvē 1, karote 4 tika gremdēta tādā veidā, lai izslēgtu tās kontaktu ar trauka sienām. Pie trauka apakšas pievienoja adapteru 6, kura datus pēc to pastiprināšanas apstrādājas ar AE ierīci 8. Dati tika fiksēti ar noteikto laika periodu.

Pirms sākuma signāla pastiprināšanas tika pielietots P113 (ierīce AF – 15) ar nepārtrauktu pastiprināšanu 40 dB frekvences diapazonā no 20 kHz līdz 2,0 MHz.

IV. EKSPERIMENTA VEIKŠANA

Par kristāliskām vielām tika izvēlēts NaCl sāls (2. att.) un cukurs (3. att.). Ja sāls ir tipisks elektrolīts, tad cukurs – tipisks neelektrolīts.

Ņēma četrus sāls kristālus, katra kristāla masa bija aptuveni 0,2 g. Tā kā cukura kristāli attiecībā pret sāls kristāliem ir mazāki un cukura kristālu AE šķīšana ir daudz vājāka nekā sāls AE, cukuru ņēma 2 g.

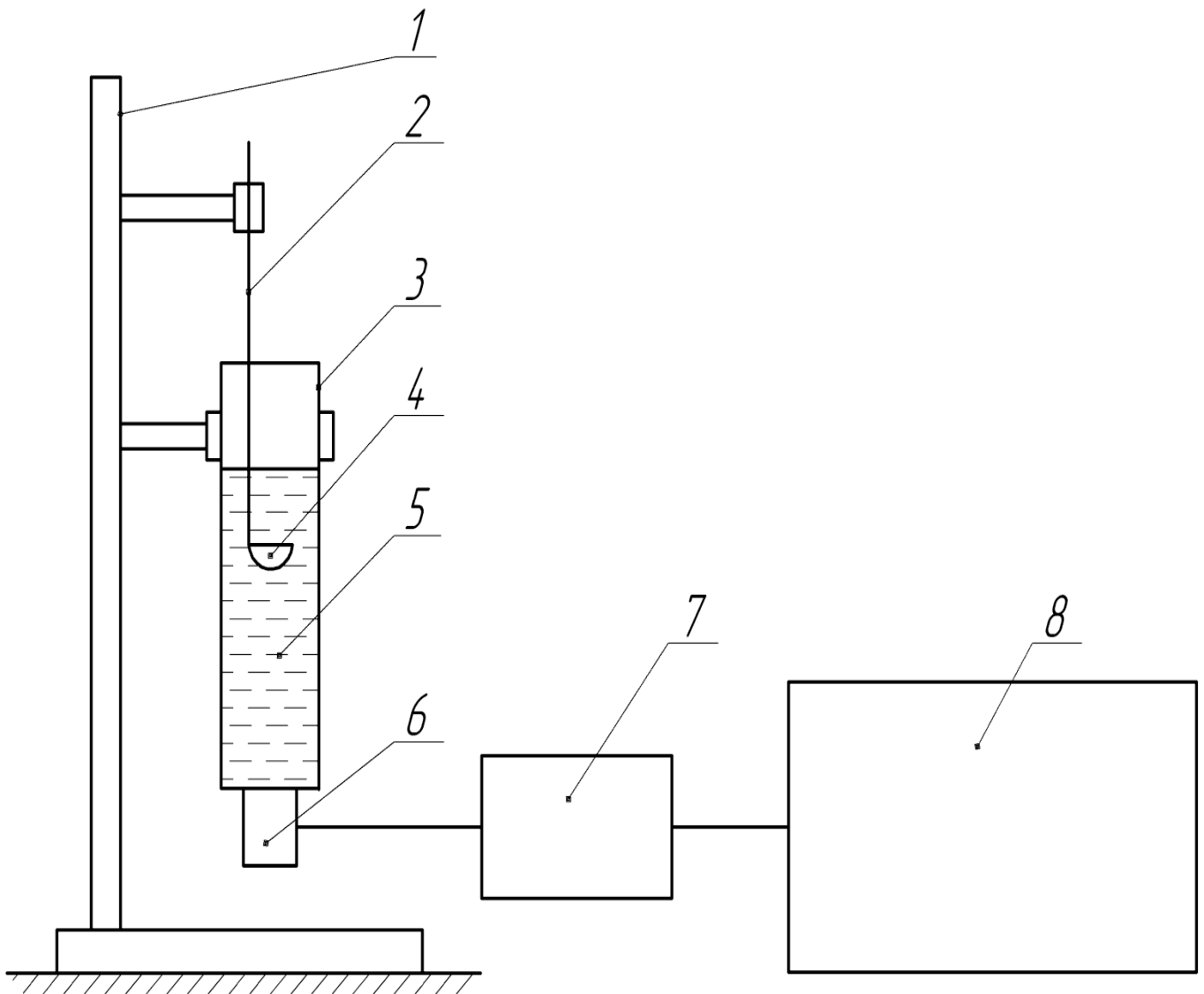
Sāls un cukura kristālu šķīšanas procesu pētījumus veica ūdenī $T = 15,4^{\circ}\text{C}$ temperatūrā. Tā kā cukura kristālu šķīšanas process norit ļoti lēni (līdz 8 – 10 stundām), tika pieņemts lēmums atkārtot eksperimentu ar cukura kristāliem pie ūdens

sākuma temperatūras $T_0 = 45,4^{\circ}\text{C}$, kas ļāva samazināt eksperimenta veikšanas laiku (eksperimenta laikā ūdens temperatūra pakāpeniski samazinājās līdz $27,4^{\circ}\text{C}$).

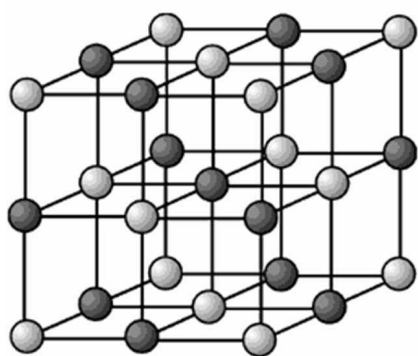
AE izpētei bija izvēlēti sekojoši fiksētie parametri: intensitāte (N_{ae}) un AE summārais skaits (N_{ae}).

Sāls un cukura kristālu šķīšanas procesu pētījumus veica ūdenī $T = 15,4^{\circ}\text{C}$ temperatūrā. Tā kā cukura kristālu šķīšanas process norit ļoti lēni (8 – 10 stundas) tika pieņemts lēmums atkārtot eksperimentu ar cukura kristāliem pie ūdens sākuma temperatūras $T_0 = 45,4^{\circ}\text{C}$, kas ļāva samazināt eksperimenta veikšanas laiku (eksperimenta laikā ūdens temperatūra pakāpeniski samazinājās līdz $27,4^{\circ}\text{C}$).

AE izpētei bija izvēlēti sekojoši fiksētie parametri: intensitāte (N_{ae}) un AE summārais skaits (N_{ae}).

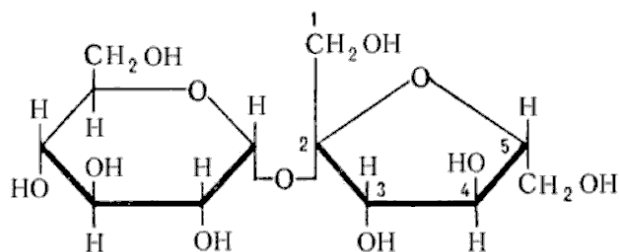


1. att. Iekārtas shēma: 1 - statīvs, 2 – mēramā karote, 3 – trauks, 4 – šķīdināmie kristāli, 5 – ūdens, 6 – piezopārveidotājs, 7 – pastiprinātājs, 8 – AE iekārta



● Na ● Cl

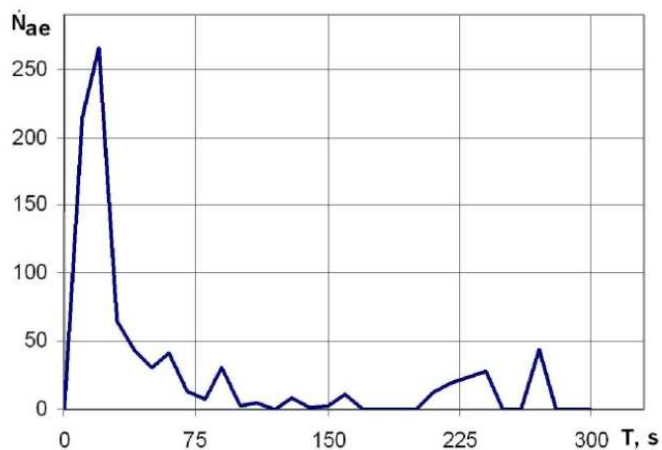
2. att. NaCl kristālu kristāliskais režģis



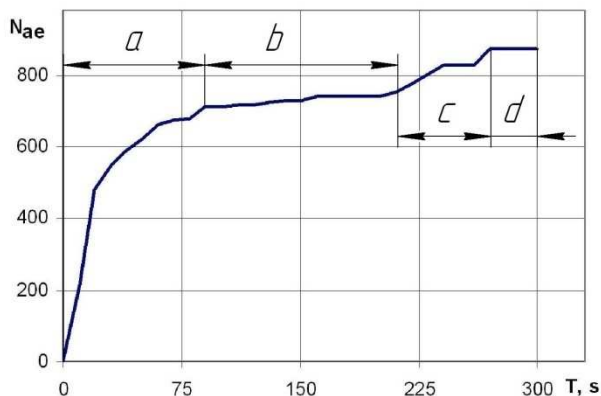
3. att. Saharozes strukturāla formula

N_{ae} un AE atkarības raksturs no laika sāls šķīšanas procesa laikā ir attēlots 4. un 5. attēlā. Pie tam ir acīmredzama AE strauja attīstība sākuma momentā (a posms, sk. 5. att.), kura ar laiku samazinās. Procesa beigās parādās neliela, bet acīmredzama atkārtota attīstība (c posms, sk. 5. att.), pēc kuras process palēninās.

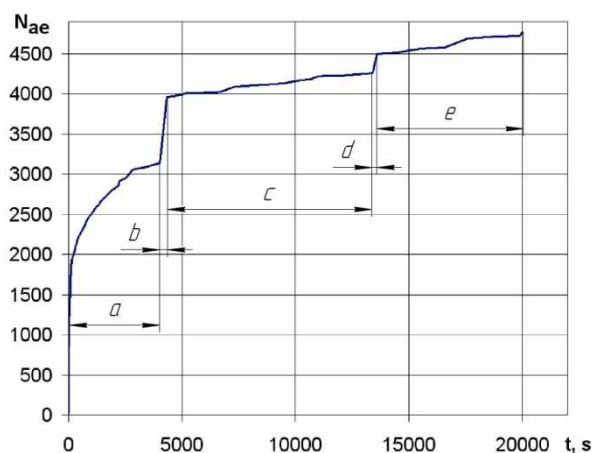
N_{ae} atkarību raksturs no laika cukura šķīšanas procesā atšķirīgām ūdens temperatūrām ir attēlots 6. un 7. attēlā. Atšķirībā no sāls kristāliem cukura kristāliem AE sākuma attīstībā var novērot krasu papildus attīstību (b posms, sk. 6. att.). Pie ūdens temperatūras $T = 45,4^{\circ}\text{C}$ grafikam ir analogisks raksturs (7. att.).



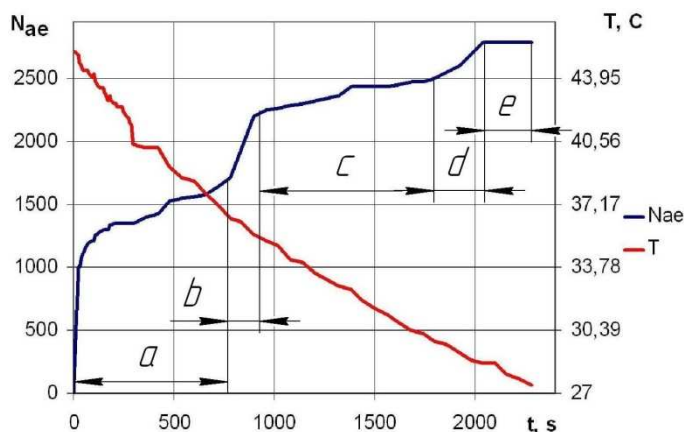
4. att. AE intensitātes atkarība no laika sāls šķīdināšanas procesā



5. att. Summāras N_{ae} atkarība no laika sāls izšķīdināšanas procesā



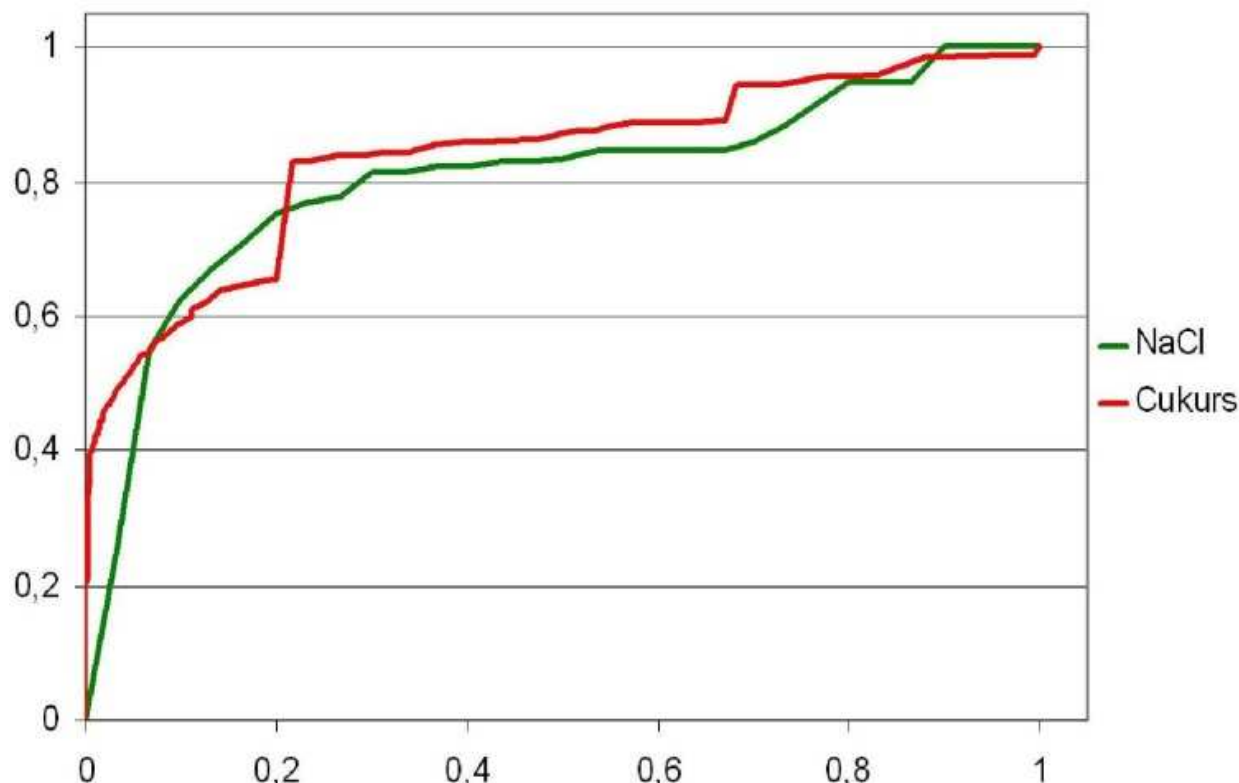
6. att. Summārā N_{ae} atkarība no laika cukura izšķīdināšanas procesā pie ūdens temperatūras $T = 15,4^{\circ}\text{C}$



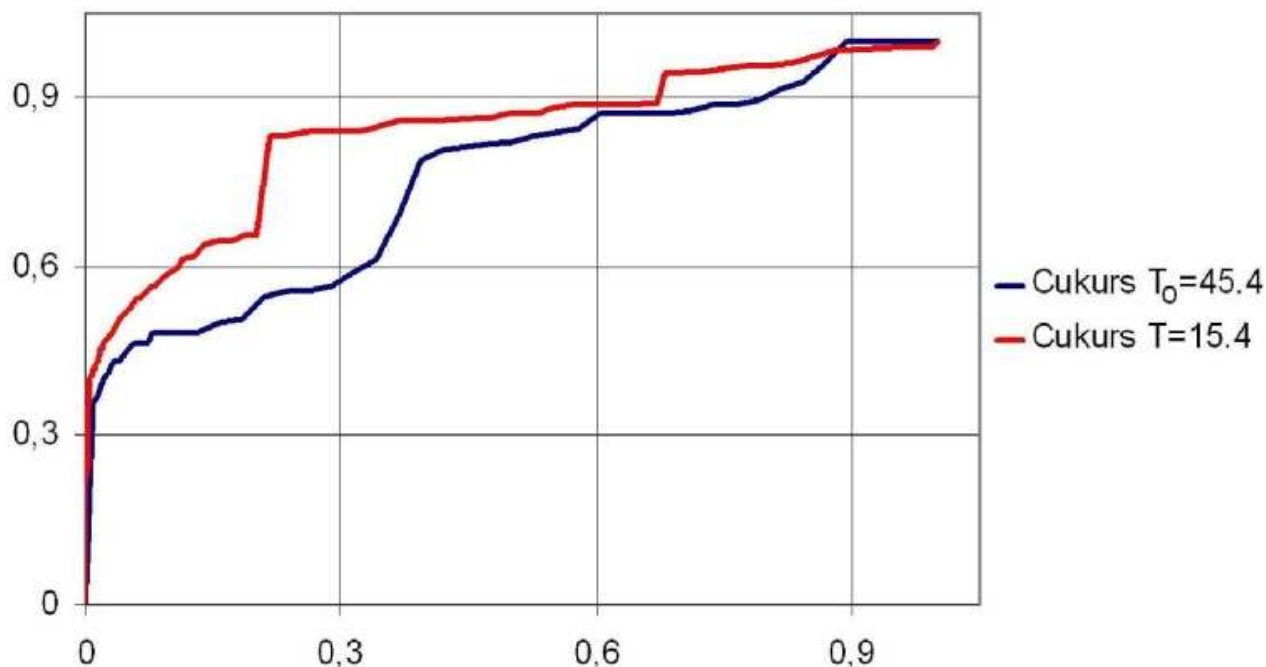
7. att. Summārās N_{ae} atkarība no laika cukura izšķīdināšanas procesā pie ūdens temperatūras $T_0 = 45,4^{\circ}\text{C}$

Kristālu šķīšanas procesa izpēte ar akustiskās emisijas metodi parādīja, ka pēc sākuma perioda straujas summāras AE attīstības notiek procesa stabilizācija ar nākamo attīstības periodu (sālim kristāli šajā momentā vairs nav izšķīdami ar aci). Iespējams šajā momentā notiek mazāko kristālisko struktūru šķīšana, cukuram labi tika novēroti divi šādi periodi, turklāt pirmajā periodā cukura kristāli bija labi izšķīdami ar aci.

Elektrolīta un neelektrolīta kristālu šķīšanas grafiki ir līdzīgi, ko var paskaidrot ar to kristālisko uzbūvi. Tajā pašā laikā otrs N_{ae} papildus atīstības periods cukuram iespējams ir saistīts ar tā kristāliskā režģa uzbūves īpatnībām.



8. att. Summāras N_{ae} sakarība no laika sāls un cukura izšķīdināšanas procesā pie vienādas ūdens temperatūras

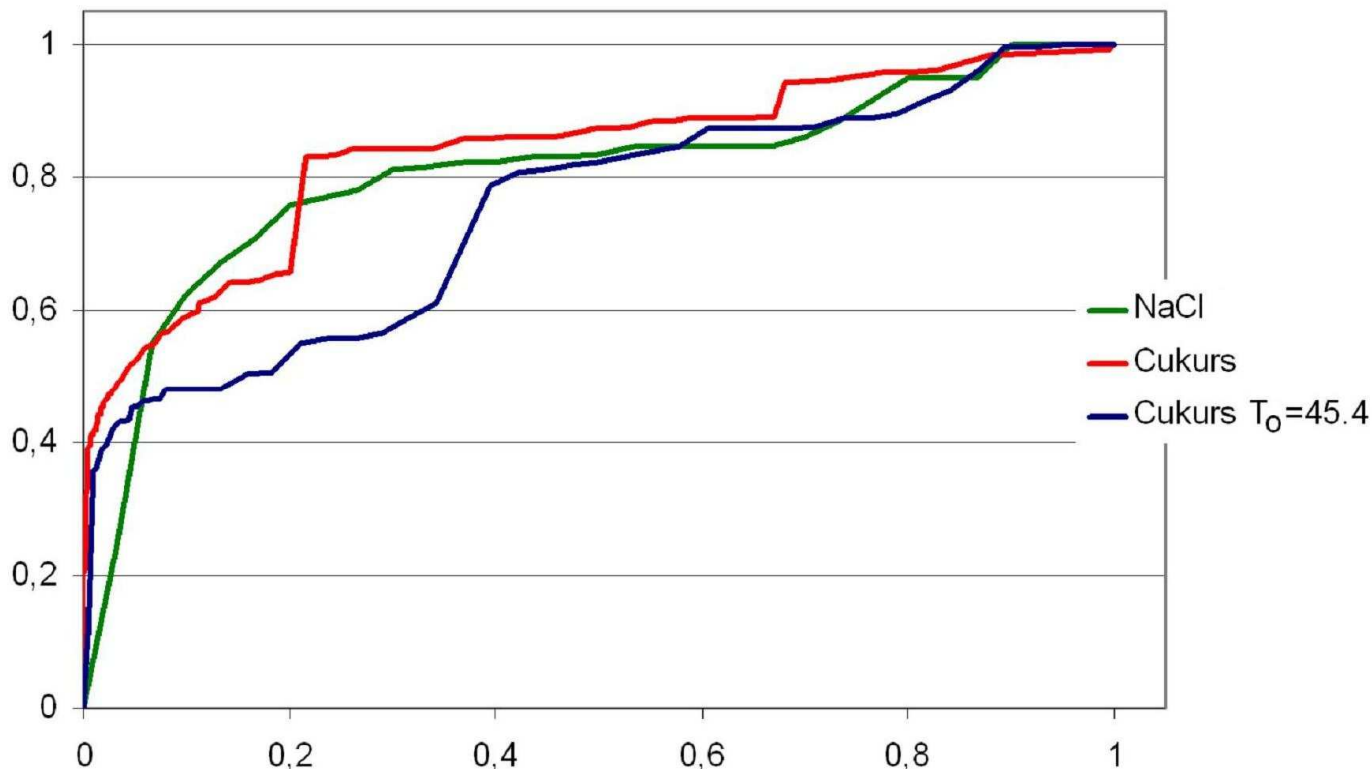


9. att. Summāras N_{ae} atkarība no laika cukura izšķīdināšanas procesā pie atšķirīgām sākuma ūdens temperatūras

Kā redzams 9. att., cukura kristālu šķīšana pie dažādām temperatūrām ir līdzīga, neskatoties uz to, ka šķīšanas process otrajā gadījumā notika desmit reizes ātrāk nekā pirmajā.

Vienādojumus numurē pieaugošā secībā ar arābu cipariem.

Ja vienādojums rakstīts vienā rindā, piem., (1), tā numuru izvieto slejas labajā malā, centrējot vertikāli. Ja vienādojums ir divas vai vairāk rindu garš, piem., (2), to izvieto pretī pēdējai vienādojuma rindai slejas labajā malā, centrējot vertikāli.



10. att. Summāras N_{ae} attiecīme pret laiku sāls un cukura šķīdināšanā pie atšķirīgas ūdens sākuma temperatūras

N_{ae} atkarības līknes raksturs no laika ir atkarīgs tikai no vielas kristāliskās uzbūves un nav atkarīgs no procesa temperatūras.

Pētījumi parādīja, ka, zinot N_{ae} atkarības raksturu no laika, jau procesa sākumā var noskaidrot kristālisko vielu šķīšanas procesa stadijas. Bet, ja nav zināmi sākuma dati, var izdarīt secinājumus par kristāliskās vielas šķīšanas tekošās fāzes iespējamo raksturu.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Reģionālā attīstības fonda atbalstu projektā „Bezpilota aviācijas kompleksa izstrāde un lidaparātu industriālo prototipu izveide Latvijas tautsaimniecības uzdevumu risināšanai”.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. **Трипалин А.С., Буйло С.И.** Акустическая эмиссия. Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 1986, -160 с.
2. **Трейвус Е.Б.** Кинетика роста и растворения кристаллов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. 248 с.
3. **Факультет электроники и приборостроения** - www.fep.tsure.ru/books/conferenc/pem2000/pape1/ai21.pdf - Resurss aprakstīts 2000. g. 22. septembrī.
4. **Parker, Elliot.** Re: Citing Electronic Journals. *In: PACS-L (Public Access Computer Systems Forum)* [tiešsaiste]. Houston (Tex.) : University of Houston Libraries, 24.11.1989 - [skatīts] 15.02.2004. Pieejams: litserv@uhupvml.uh.edu.
5. **Noteikumi par virszemes un pazemes ūdeņu kvalitāti** [tiešsaiste]. MK Noteikumi Nr. 118, 12.03.2002. Rīga : Ministru kabinets [skatīts 4.01.2003]. Pieejams: <http://www.likumi.lv>

6. **Smith, G. W.** *Chromatographic Determination of Pesticides*. Ph.D. thesis. Oxford : Oxford University, 1999. 136 p.
7. **Jākobsone, I.** *Informācijpratības programmas modelis: veidošanas kritēriji un metodes* : maģistra darbs. Latvijas Universitāte. Rīga, 2004. 95 lpp.

Alexander Urbach is a 1981 undergraduate of the Faculty of Mechanical Engineering Riga Civil Aviation Engineering Institute and has been awarded the Dr.sc.ing. degree by the same faculty in 1986. In 1997 he was awarded the Dr.habil.sc.ing. degree by the Riga Aviation University. In 1989-1999 he is a Vice Dean and Dean at the Faculty of Mechanical Engineering of Riga Aviation University. Since 1999 he is a full time professor and Director at the Institute of Transport Vehicles Technologies of the Riga Technical University. His field of scientific interest includes: Mechanical Engineering; Transport; Unmanned Land/Sea/Air Vehicles; Science of Aviation Materials; Aircraft Construction Mechanics; Structural Materials Processing – Surface Protection Technologies; Diagnostics of Machinery; Logistics and Transport Systems.

Mukharbiy Banov is a 1975 graduate of the Engineer Mechanics of Aircraft and Engines Maintenance of the Riga Civil Aviation Engineers Institute and has been awarded the Ph.D. degree by Engineering in 1979 of the Faculty of Aircraft Repair and Technology of the Riga Civil Aviation Engineers Institute. Since 1981 to 1995 he was Assistant, Docent, Professor, Lecturer of Riga Civil Aviation Engineering Institute. Since 1995 to 1998 he was Assistant, Docent, Professor, Lecturer of Riga Aviation University. Since 1999 he is Assistant, Docent, Professor, Lecturer of Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies. Since 2007 he is the Supreme State Engineering Courses of Improvement of Qualification on Non - Destructive Testing

Yevhen Harbuz is a 2007 graduate of the Engineer Mechanics of Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies. 2007 graduate of the Master of Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies. Since 2009 postgraduate study programme "Transport", a sub - programme "Technical Support of Transport Systems" of Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies.

Since 2010 he is Assistant Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies.

Vladimir Zujev is a 2009 graduate of the Fire Safety and Civil Defence Engineer of Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies. Since 2009 Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies master study programme "Transport System of Engineering". Since 1991 he is Fire Safety Surveillance and Civil Protection Department Inspector of State Fire and Rescue Service.

Nikolay Hodos is a 1981 graduate of the Electrical Engineer Electrical Equipment and Navigation Systems of Riga Civil Aviation Engineers Institute. Since 1982 to 1991 he was Lecturer of Riga Civil Aviation Engineers Institute. Since 2010 postgraduate study programme "Transport", a sub - programme "Technical Support of Transport Systems" of Riga Technical University of Institute of Transport Vehicle Technologies.

Alexander Urbach, Mukharbiy Banov, Yevhen Harbuz, Vladimirs Zujevs, Nikolay Khodos, Juriy Feshchuk. Application of acoustic emission method for research of process of crystalline substance dilution

With conducting of studies of the processes of the dissolution of crystalline substances the complexities with the determination of the stage of the process of dissolution appear. For these purposes usually are used either the instruments measuring the density solution or the weights, which make it possible to determine a quantity of still undisclosed substance. But both methods have deficiencies (difficulties of measurement with small quantities of substance, high price and not the universality of measuring equipment). The application of a method of acoustic emission (AE) makes it possible to conduct a study of the processes of dissolution without depending on the volumes of substances and does not require creation for this of special condition. In the present time it is considered that graph summary AE (Nae) in the process of the dissolution of crystals bears monotonic nature. It is assumed that an equal quantity of solvent causes equal increase in Nae. Thus at each subsequent moment of time the value of Nae must be lowered proportionally to the decrease of the share of undisclosed the substance. The checking of this assertion it was carried out for the crystals of salt and sugar, which are the typical representatives of electrolytes and nonelectrolytes. In this case for the sugar the experiment was conducted with the different values of initial temperature, which increased the reaction rate of dissolution in 10 times. In the course of experiment it was revealed, that the nature of graph is differed from that assumed the presence of the additional of the splash of Nae in the process of dissolution. In this case the nature of the flow process it does not depend on the temperature.

Александр Урбах, Мухарбий Банов, Евгений Гарбуз, Владимир Зуев, Николай Ходос, Юрий Фещук. Использование метода акустической эмиссии для исследования процесса растворения кристаллических веществ

При проведении исследований процессов растворения кристаллических веществ возникают сложности с определением стадии процесса растворения. Для этих целей обычно используются либо приборы измеряющие плотность раствора, либо весы, которые позволяют определить количество еще нерастворившегося вещества. Но оба метода имеют недостатки (трудности измерения при малых количествах вещества, высокая цена и не универсальность измерительной аппаратуры). Применение метода акустической эмиссии (АЭ) позволяет провести исследование процессов растворения вне зависимости от объемов веществ и не требует создания для этого специальных условий. В настоящее время считается, что график суммарной АЭ (Nae) в процессе растворения кристаллов носит монотонный характер. Предполагается, что равное количество растворяемого вещества вызывает равное приращение Nae. Таким образом, в каждый последующий момент времени значение Nae должно снижаться пропорционально уменьшению доли нерастворенного вещества. Проверка данного утверждения выполнялась для кристаллов соли и сахара, которые являются типичными представителями электролитов и неэлектролитов. При этом для сахара эксперимент проводился при разных значениях начальной температуры, что повысило скорость протекания процесса растворения в 10 раз. В ходе эксперимента было выявлено, что характер графика отличается от предполагаемого наличием дополнительных всплесков Nae в процессе растворения. При этом характер протекания процесса не зависит от температуры.