

PHYSICOCHEMICAL BASIS OF INDUSTRIAL CRYSTALLIZATION OF SUCROSE



Valida Guluzadeh¹
Fazil Valiyev² 

UDC: 621.865.8: 664.1.052:544.354:536.7

LBC: 32.816

HoS: 169

doi: 10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.238-247

Keywords:

Crystallization
process,
Sucrose,
Crystallization
stage,
Mechanical
circulator,
Thermodynamic
potential

Subject area:

Physical,
Mathematical and
Technical Sciences

Research field:

Chemical
Engineering

ABSTRACT

Crystallization - of solids from solutions or alloys is a mass transfer process based on the transfer of matter between two contacting phase surfaces. That is, it is a phase transition that occurs when a substance passes from a solution (liquid phase) to a crystallized product (solid phase). During the crystallization process, impurities (impurities, impurities) present in a certain amount in working solutions, including sucrose solutions, are always separated from the crystalline product (crystallization).

The crystallization process can occur only in supersaturated (supersaturated) solutions. Therefore, the formation of crystallization centers and their growth is possible only if the thermodynamic potential of pure sucrose crystals at the end of the process is lower than before the start of crystallization. The driving force of the sucrose crystallization process and the main factor determining the crystal growth rate is the concentration difference between two immiscible phases - that is, the substance in the supersaturated solution (a solution with a concentration higher than the equilibrium concentration of this substance at a given temperature) and the substance on the crystal surface.

The crystallization of sucrose from saturated sugar solutions, which occurs in vacuum apparatuses (including those operating cyclically), is a physicochemical process, a very complex heat exchange process and can be influenced by various factors - for example, the concentration of the solution at a certain time, the temperature ranges, and the residual pressure in the vacuum apparatus. These factors can be described by the corresponding dependencies (i.e., mathematical relationships). The crystallization process of sucrose fully enters the second stage of crystal growth only when the crystallization centers capable of growth "solidify" and the growing crystals reach a certain size. Simultaneously with the crystallization process of sucrose, its decomposition under the influence of high temperature also occurs. In addition, in parallel with the crystallization of sucrose, various by-products are formed as a result of the interaction of reducing sugars, coagulation or decomposition of organic compounds (non-sugar substances), as well as the crystallization and recrystallization reactions of sucrose.

¹ 2nd course master student,

Department of Economics and Technology Sciences, International Master's and Doctoral Center, Azerbaijan State University of Economics; Baku, Azerbaijan

E-mail: valida.q.13@gmail.com

² Doctor of Technical Sciences, Professor,

Faculty of Engineering, Department of Economics and Technology Sciences, International Master's and Doctoral Center, Azerbaijan State University of Economics; Baku, Azerbaijan

E-mail: fazil_valiyev@unec.edu.az

<https://orcid.org/0000-0002-2607-2091>

To cite this article: Guluzadeh, V., & Valiyev, F. [2026]. Physicochemical Basis of Industrial Crystallization of Sucrose. *History of Science journal*, 7(2), pp.238-247.

<https://doi.org/10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.238-247>

Article history:

Received: 4 March 2026

Revised: 7 April 2026

Accepted: 1 June 2026

Published: 15 June 2026



Copyright: © 2026 by AcademyGate Publishing. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the CC BY-NC 4.0. For details on this license, please visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

SAXAROZANIN SƏNAYE KRİSTALLAŞMASININ FİZİKİ- KİMYƏVİ ƏSASLARI



Validə Quluzadə¹

Fazil Vəliyev² 

UOT: 621.865.8: 664.1.052:544.354:536.7

KBT: 32.816

HoS: 169

doi: 10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.238-247

Açar sözlər:

Kristallaşma
prosesi,
Saxaroza,
Kristallaşma
mərhləsi,
Mexaniki
sirkulyator,
Termodinamik
potensial

ANNOTASIYA

Məhlullardan və ya ərintilərdən bərk maddələrin kristallaşması, maddənin iki təmasda olan faza səthi arasında ötürülməsinə əsaslanan kütlə ötürülməsi prosesidir. Yəni, bu, bir maddənin məhluldan (maye fazadan) kristallaşmış məhsula (bərk faza) keçdiyi zaman baş verən faza keçididir. Kristallaşma prosesi zamanı saxaroza məhlulları da daxil olmaqla, işçi məhlullarda müəyyən miqdarda mövcud olan çirkələr (qarışıqlar, çirkələr) həmişə kristal məhsuldan (kristallaşma) ayrılır.

Kristallaşma prosesi yalnız həddindən artıq doymuş (həddindən artıq doymuş) məhlullarda baş verə bilər. Buna görə də, kristallaşma mərkəzlərinin əmələ gəlməsi və onların böyüməsi yalnız prosesin sonunda təmiz saxaroza kristallarının termodinamik potensialı kristallaşma başlamazdan əvvəlkindən daha aşağı olduqda mümkündür. Saxaroza kristallaşma prosesinin hərəkətverici qüvvəsi hesab edilən və kristal böyümə sürətini təyin edən əsas amil olan iki qarışmayan faza - yəni həddindən artıq doymuş məhluldakı maddə (müəyyən bir temperaturda bu maddənin tarazlıq konsentrasiyasından yüksək konsentrasiyaya malik məhlul) və kristal səthindəki maddə arasındakı konsentrasiya fərqi.

Vakuum aparatlarında (tsiklik işləyənlər də daxil olmaqla) baş verən doymuş şəkər məhlullarından saxarozanın kristallaşması fiziki-kimyəvi bir prosesdir, çox mürəkkəb bir istilik mübadiləsi prosesidir və müxtəlif amillərdən - məsələn, müəyyən bir zamanda məhlulun konsentrasiyasından, temperatur diapazonlarından və vakuum aparatındakı qalıq təzyiqdən təsirlənə bilər.

Bu amillər müvafiq asılılıqlarla (yəni riyazi əlaqələrlə) təsvir edilə bilər. Saxarozanın kristallaşma prosesi yalnız böyüməyə qadir olan kristallaşma mərkəzləri "bərkləşdikdə" və böyüyən kristallar müəyyən bir ölçüyə çatdıqda kristal böyüməsinin ikinci mərhələsinə tam olaraq daxil olur. Saxarozanın kristallaşma prosesi ilə eyni vaxtda, yüksək temperaturun təsiri altında onun parçalanması da baş verir. Bundan əlavə, saxarozanın kristallaşması ilə paralel olaraq, reduksiyaedici şərtlərin qarşılıqlı təsiri, üzvi birləşmələrin (şəkərsiz maddələrin) laxtalanması və ya parçalanması, eləcə də saxarozanın kristallaşma və yenidən kristallaşma reaksiyaları nəticəsində müxtəlif əlavə məhsullar əmələ gəlir.

Sahə:

Fizika-Riyaziyyat
və Texnika
Elmləri

Tədqiqat sahəsi:

Kimya
mühəndisliyi

¹ 2-ci kurs magistr tələbəsi,

İqtisadi və texnoloji elmlər kafedrası, Beynəlxalq Magistratura və Doktorantura Mərkəzi, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti; Bakı, Azərbaycan

E-mail: valida.q.13@gmail.com

² Texnika elmlər doktoru, Professor,

Mühəndislik fakültəsi, İqtisadi və texnoloji elmlər kafedrası, Beynəlxalq Magistratura və Doktorantura Mərkəzi, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti; Bakı, Azərbaycan

E-mail: fazil_valiyev@unec.edu.az

<https://orcid.org/0000-0002-2607-2091>

Məqaləyə istinad: Quluzadə, V., & Vəliyev, F. [2026]. Saxarozanın Sənaye Kristallaşmasının Fiziki-Kimyəvi Əsasları. *History of Science jurnalı*, 7(2), səh.238-247.

<https://doi.org/10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.238-247>

Məqalənin tarixçəsi:

Daxil olub: 04.03.2026

Yenidən baxılıb: 07.04.2026

Təsdiqlənib: 01.06.2026

Dərc olunub: 15.06.2026



Copyright: © 2026 by AcademyGate Publishing. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the CC BY-NC 4.0. For details on this license, please visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ САХАРОЗЫ



Валида Гулузаде¹
Фазиль Валиев² 

УДК: 621.865.8: 664.1.052:544.354:536.7

ББК: 32.816

HoS: 169

doi: 10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.238-247

Ключевые слова:

Процесс кристаллизации, Сахароза, Стадия кристаллизации, Механический циркулятор, Термодинамический потенциал

Область исследования:

Физика, математика и технические науки

Научная область:

Химическая инженерия

АННОТАЦИЯ

Кристаллизация твердых веществ из растворов или сплавов — это процесс массопереноса, основанный на переносе вещества между двумя контактирующими поверхностями фаз. То есть это фазовый переход, происходящий при переходе вещества из раствора (жидкой фазы) в кристаллизованный продукт (твердую фазу).

В процессе кристаллизации примеси (смеси, примеси), присутствующие в определенных количествах в рабочих растворах, включая растворы сахарозы, всегда отделяются от кристаллизованного продукта (кристаллизата).

Процесс кристаллизации может происходить только в пересыщенных растворах. Следовательно, образование центров кристаллизации и их рост возможны только в том случае, если термодинамический потенциал чистых кристаллов сахарозы в конце процесса ниже, чем до начала кристаллизации. Движущей силой процесса кристаллизации сахарозы считается разница концентраций между двумя несмешивающимися фазами — то есть веществом в пересыщенном растворе (растворе с концентрацией выше равновесной концентрации этого вещества при определенной температуре) и веществом на поверхности кристалла — и является основным фактором, определяющим скорость роста кристаллов.

Кристаллизация сахарозы из насыщенных растворов сахара, происходящая в вакуумных установках (включая работающие циклически), представляет собой физико-химический процесс, очень сложный процесс теплообмена, и на него могут влиять различные факторы — например, концентрация раствора в определенный момент времени, диапазоны температур и остаточное давление в вакуумной установке. Эти факторы могут быть описаны соответствующими зависимостями (т.е. математическими соотношениями). Процесс кристаллизации сахарозы полностью переходит во вторую стадию роста кристаллов только тогда, когда кристаллизационные центры, способные к росту, «затвердевают», а растущие кристаллы достигают определенного размера. Одновременно с процессом кристаллизации сахарозы происходит также ее разложение под воздействием высоких температур. Кроме того, параллельно с кристаллизацией сахарозы образуются различные побочные продукты в результате взаимодействия редуцирующих сахаров, коагуляции или разложения органических соединений (несахарных веществ), а также реакций кристаллизации и перекристаллизации сахарозы.

¹ Студент 2-го курса магистратуры, Кафедра Экономики и технологических наук, Международный центр магистерских и докторских наук, Азербайджанский Государственный Экономический Университет; Баку, Азербайджан
E-mail: valida.q.13@gmail.com

² Доктор технических наук, Профессор, Факультет инженерии, Кафедра Экономики и технологических наук, Международный центр магистерских и докторских наук, Азербайджанский Государственный Экономический Университет; Баку, Азербайджан
E-mail: fazil_valiyev@unec.edu.az
<https://orcid.org/0000-0002-2607-2091>

Цитировать статью: Гулузаде, В., & Валиев, Ф. [2026]. Физико-химические основы промышленной кристаллизации сахарозы. *Журнал History of Science*, 7(2), с.238-247.
<https://doi.org/10.33864/2790-0037.2026.v7.i2.238-247>

История статьи:
Поступила: 04.03.2026
Переработана: 07.04.2026
Принята: 01.06.2026
Опубликована: 15.06.2026



1. Giriş

Vakuum-aparatlarda (o cümlədən dövrü fəaliyyət göstərən) baş verən saxarozanın doymuş şəkər məhlullarından kristallaşması fiziki-kimyəvi bir proses olub, çox mürəkkəb bir istilik mübadiləsi prosesidir və ona müxtəlif amillər təsir göstərə bilər — məsələn, müəyyən bir dövrdə məhlulun konsentrasiyası, temperatur sahələri və vakuum-aparata qalıq təzyiqli kimi.

Bu amillər uyğun asılılıqlarla (yəni riyazi əlaqələrlə) təsvir oluna bilər. Saxarozanın kristallaşma prosesi tam şəkildə kristal böyüməsinin ikinci mərhələsinə yalnız o zaman keçir ki, böyüməyə qadir kristallaşma mərkəzləri “məhkəmlənsin” və böyüyən kristallar müəyyən ölçülərə çatsın [Лебедева, 2013].

Saxarozanın kristallaşması prosesi ilə eyni zamanda, yüksək temperaturun təsiri altında onun parçalanması da baş verir. Bundan əlavə, saxarozanın kristallaşması ilə paralel şəkildə reduksiyaedən şəkərlərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində müxtəlif yan məhsulların əmələ gəlməsi, orqanik qarışıqların (şəkər olmayan maddələrin) koagulyasiyası və ya parçalanması, həmçinin saxarozanın kristallaşması və rekrystallaşması reaksiyaları da gedir [Петров и др., 2011].

2. Məqsəd

Saxarozanın kristallaşma prosesinə yalnız fiziki parametrlər — məhlulun (şəkər məhlulunun, utfelin) özlülüyü, təmizliyi, konsentrasiyası, mühitin temperaturu və digər amillər deyil, həm də hidrodinamik parametrlər — vakuum-aparat daxilində utfelin dövrünü, yəni mühitin hərəkəti və qarışması təsir göstərə bilər. Bu amillərin saxarozanın kristallaşma prosesinə daxil edilməsi mexaniki və ya hidrodinamik dövrün sistemləri ilə təchiz edilmiş vakuum-aparatların istifadəsi hesabına həyata keçirilir. Belə qurğuların əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, I kristallaşma mərhələsindəki utfelin qatılaşdırılması üçün 106,6–107,7 °C temperaturda olan ikinci dərəcəli buxardan (məsələn, beş korpuslu buxarlandırıcı qurğunun IV korpusundan və ya dörd korpuslu qurğunun III korpusundan alınan buxardan) isitmə buxarı kimi istifadə etmək mümkündür. Bu isə dövrün sistemləri (sirkulyatorlar) olmayan vakuum-aparatlarda həyata keçirilə bilmir [Славянский, 2012].

Real texnoloji prosesdə, əgər vakuum-aparatın konstruksiyasında dövrün sistemi nəzərdə tutulubsa, bu, aparatın qızdırılmasında buxarlandırıcı qurğunun təzyiqli bir pillə aşağı olan ikinci dərəcəli buxarından istifadə etməyə imkan verir. Nəticədə istilik ötürmə əmsalının artması hesabına utfelin qatılaşdırılma (bişirmə) müddətini azaltmaq mümkündür:

I kristallaşmada – 20 %,

II kristallaşmada – 30 %,

III kristallaşmada isə – 50 % azalma müşahidə olunur.

Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar nəticəsində I kristallaşma mərhələsində utfelin alınmasının yeni üsulu yaradılmış və istehsalata tətbiq edilmişdir [Славянский, 2007].

3. İşin aparılma metodikası

Hazırlanmış I kristallaşma mərhələsinin utfelin alma üsulu kristallaşma mərkəzləri kimi ana (baş) utfeldən istifadəni nəzərdə tutur [Славянский, 2007]. Bu texnologiyaya əsasən, ana utfel soyuducu kristalizatorada şəkər şərbətindən hazırlanır və onun tərkibində 75–78 % quru maddə olur [Şəkil 1].

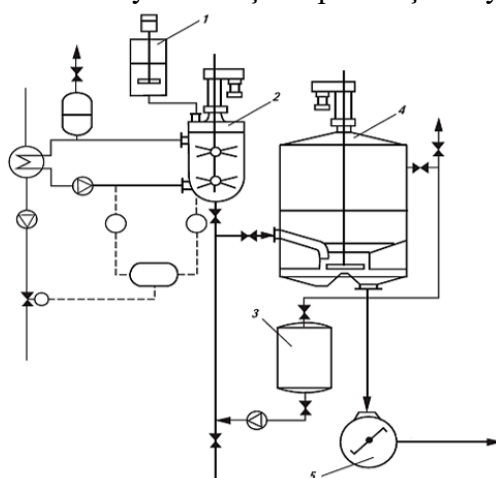
İlk mərhələdə 75–78% quru maddə tərkibli şərbət qəbul qabı 3-dən soyuducu kristallaşdırıcıya 2 ötürülür. Bu kristallaşdırıcı qarışdırma qurğusu və istilik mübadiləsi sistemi ilə təchiz olunmuşdur [Штангеев, 2014].

Şərbət 1,1 doyma dərəcəsinə (yəni həddindən artıq doymuş vəziyyətə) çatdıqda, 1 sayılı çəndən 0,010–0,015 mm ölçülü kristallar ehtiva edən başlanğıc (maya) pasta əlavə edilir. Daha sonra soyutma prosesi davam etdirilir, doyma səviyyəsi 1,05–1,10 intervalında sabit

saxlanılır və kristallaşan süspensiyanın intensiv qarışdırılması aparılır. Bu şəraitdə kristallar 0,120–0,160 mm ölçüyə qədər böyüdülmüş və alınan süspensiya buxarlandırıcı aparat 4-dən 5 saylı çənə ötürülür. Əldə olunan ana utfel birləşməmiş (konqlomerasiya olmayan) saxaroza kristallarından ibarətdir və onların ölçüləri yüksək dərəcədə bərabər olur.

Sonra ana utfel (baş utfel) təzə şərbət və II və III kristallaşma mərhələlərinin məhsul kristallaşmalarından alınan saflaşdırılmış şəkər ilə qarışdırılır. Alınan qarışıq I kristallaşma mərhələsinin vakuüm-aparatına doldurulur — bu zaman aparat, buxar kamerasının bütün isitmə səthini tam örtəcək səviyyəyə qədər doldurulur.

Kameranın qızdırılması üçün 105–110°C temperaturda olan ikinci dərəcəli isitmə buxarından istifadə edilə bilər, lakin bu, yalnız vakuüm-aparatda dövran sistemi (sirkulyator) mövcud olduqda mümkündür. Ana utfelin kristallaşma mərkəzləri kimi istifadəsi, onların formalaşması və böyüməsi üçün optimal şərait yaradır.

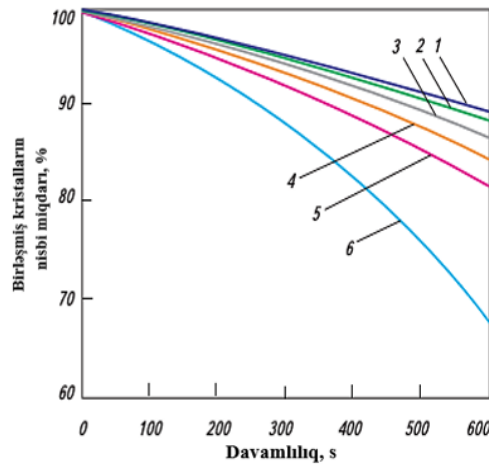


Şəkil 1. Ana utfel şəklində kristallik mayanı əldə etməyə xidmət edən qurğunun sxematik təsviri: 1 – maya pastası üçün çən; 2 – kristallizator-soyuducu; 3 – şərbət qəbuledicisi; 4 – vakuüm-aparat; 5 – maya suspenziyası üçün çənlər.

Tətbiq olunan sxem — yəni ana utfelin klerovka və şərbətlə qarışdırılaraq vakuüm-aparata daxil edilməsi — utfeldə yeni kristallaşma mərkəzlərinin yaranmasını demək olar ki, tamamilə aradan qaldırır, lakin eyni zamanda kristalların sonrakı böyüməsi üçün tələb olunan bütün şəraiti təmin edir [Filho, 2012].

Ana utfeldə saxaroza kristallarının optimal ölçüləri, müəyyən bir zamanda kristallaşma prosesinə təsir edən müxtəlif göstəricilərdən asılı olaraq, müəyyən fraksiyaya aid, bir-biri ilə birləşməyən (yəni konqlomerasiya etməyən) saxaroza kristallarının sayının necə dəyişəcəyini hesablamağa imkan verən riyazi tənlik əsasında aparılmış hesablamalar nəticəsində müəyyən edilmişdir: Burada, $\alpha(m_1, m_2)$ – kristalların qarşılıqlı birləşmə prosesində iştirak edən kütlədən asılı olaraq dəyişən əmsal; τ – zaman; γ – əmsal; N – vahid həcmdəki kristalların sayı, $N_0 = n L^3$; L – kristalın uzunluğu; r – saxaroz kristallarının birləşmə intensivliyinə onların radiusunun necə təsir etdiyini göstərən amildir.

Təqdim olunan nəzəri model müxtəlif şəraitlərdə kristalların birləşmə prosesini əks etdirir və kristal əsasın texnoloji xüsusiyyətlərini, eləcə də həmin əsasda I kristallaşma mərhələsində utfelin qatılaşdırılmasının (həll bişirilmə) texnoloji şərtlərini müəyyən etmək üçün istifadə olunmuşdur. Bu nəticələr artıq eksperimental yolla təsdiqlənmişdir. Şəkil 2-də saxaroza kristallarının birləşmə prosesinin onların ölçüsündən asılı olaraq dəyişməsi nəticələri təsvir edilmişdir.

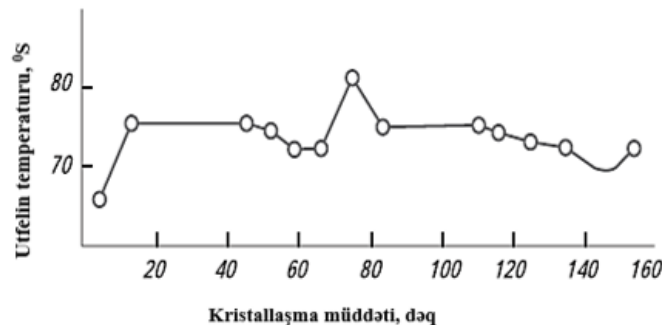


Şəkil 2. Saxaroza kristallarının birləşməyən nisbi sayının kristallaşma müddətindən asılılığı (maya kristallarının müxtəlif ölçülərində, mm): 1 – 0,200; 2 – 0,160; 3 – 0,140; 4 – 0,120; 5 – 0,110; 6 – 0,100.

Şəkildən göründüyü kimi, saxaroza kristallarının birləşmə prosesinin intensivliyi ana utfelin kristallarının ölçüsü 0,120 mm-dən az olduqda artır. Lakin eyni zamanda, əgər kristalların ölçüsü 0,160 mm-dən çox olmağa başlayarsa, utfelin soyudulması zamanı kristallaşdırıcıda yeni kristallaşma mərkəzlərinin yaranma ehtimalı artır və eyni vaxtda — ana utfellə birlikdə daxil edilən saxaroza kristallarının böyümə sürəti azalır. Saxaroza kristallarının radiusu 0,120–0,160 mm intervalına çatdıqda, onların birləşmə ehtimalı 8 %-dən çox olmur [Штангеев, 2004].

Əlavə olunmuş ana utfel kristalların böyüdülməsi (artırılması) 72,0–76,0 °C temperaturda, qatılaşıdırılan utfeldə quru maddələrin 88,5–90,0 % konsentrasiyası şəraitində, sirkulyatorlu vakuüm-aparatında həyata keçirilir [Ioelovich, 2020].

Kristalların böyüdülməsi prosesində utfelin temperaturunun 72,0–76,0 °C intervalında dəqiq saxlanması, kristallaşma prosesinin maksimum sürətlə aparılması tələbindən irəli gəlir [Şəkil 3]. Bundan əlavə, bu rejim utfelin kristallararası məhlulunun daha səmərəli şəkildə tükənməsinə və saxarozanın termal itkilərinin azaldılmasına imkan verir [Ensinas et al., 2015]. Sirkulyatorlu vakuüm-aparatlardan istifadə, xüsusilə qatılaşıdırmanın son mərhələsində vacib olan utfel kütləsinin daha intensiv qarışdırılmasını təmin edir [Grisi et al., 2012].



Şəkil 3. Kristallaşma zamanı utfelin temperaturunun dəyişməsi

Təqdim olunan üsulda mexaniki sirkulyatorla təchiz edilmiş BA2-B-60 tipli vakuüm-aparatdan istifadə olunmuşdur. Bu aparat yerli şəkər zavodlarında I, II və III kristallaşma mərhələlərinin utfellərinin alınması üçün nəzərdə tutulmuşdur [Şəkil 4].

Vakuum-aparat — daxilinə quraşdırılmış buxar kamerası və qarışdırıcı qurğu olan, üst hissəsində genişlənən (utfel səthi üzərində) sahəyə malik silindrik şaquli qab şəklində konstruksiya olunmuşdur [Semenov et al., 2021].

Aparatın əsas texniki göstəriciləri aşağıdakılardır:

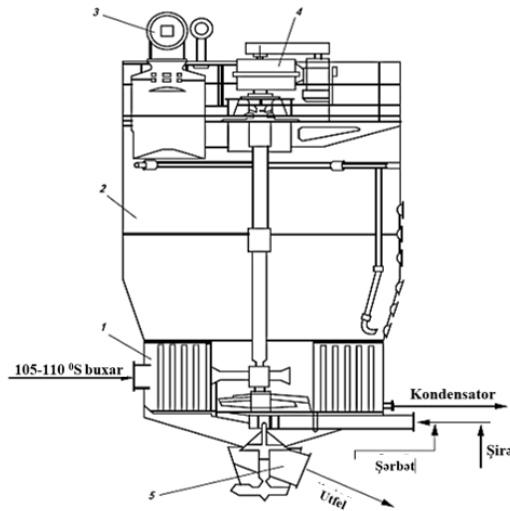
- Utfel üzrə faydalı tutumu – 40 m³;
- Sirkulyator valının fırlanma tezliyi – 30–60 dövr/dəq;
- Elektrik mühərrikinin quraşdırılmış gücü – 45 kVt;
- Vakuum-aparatın gövdəsində işçi təzyiq – 0,08–0,09 MPa;
- Buxar kamerasında işçi buxar təzyiqi – 0,343 MPa;
- Hazır utfelin kütləsi – 60 ton;
- Aparatın kütləsi – 39 min kq;

Qabarit ölçüləri:

- a) hündürlüyü – 9195 mm;
- b) diametri – 4525 mm.

Mexaniki sirkulyatorla təchiz edilmiş vakuum-aparatda ikincil qızdırıcı buxarın istifadəsi imkanlarının öyrənilməsi üzrə əldə olunmuş eksperimental məlumatlar göstərmişdir ki, 105–110°C temperatur intervalında olan buxardan istifadə zamanı utfelin qatılaşdırılması (həll bişirilməsi) üçün ən əlverişli şərait yaranır. Bu şərait saxaroz itkilərinin minimum səviyyədə olması ilə xarakterizə olunur [Tkachenko et al., 2020].

Göstərilən temperatur intervalında olan ikincil qızdırıcı buxar beş korpuslu buxarlandırma qurğusunun IV korpusundan götürülmüşdür. Şərbətin klerovka (təmizləmə məhlulu) ilə birlikdə son çəkilmələri (nasosla) dayandırıldıqdan sonra, həll bişirilən (qatılaşdırılan) utfelə onun özünün ikinci şirəsi əlavə edilir və qatılaşdırma prosesi quru maddə miqdarı 93,0–93,5% olana qədər, 66–72°C temperaturda davam etdirilir [Şəkil 4] [Semenov et al., 2021].



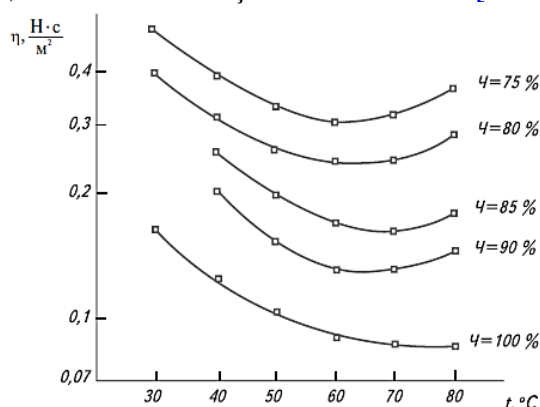
Şəkil 4. Mexaniki sirkulyatorla təchiz edilmiş BA2-B-60 tipli vakuum-aparatı: 1 – buxar kamerası; 2 – gövdə; 3 – sürücü; 4 – qarışdırıcı qurğu; 5 – işəalma sürgüsü

Vakuum-aparatdan boşaltmadan əvvəl qatılaşdırılmış utfel onun özünün birinci şirəsi ilə qarışdırılaraq quru maddə miqdarı 92,0–92,5% qədər axıcılığı artırılır. Belə texnoloji sxemin — yəni I kristallaşma mərhələsinə aid utfelin ikinci şirəsindən son doldurmalarda istifadə olunmasının — tətbiqi kristallararası məhlulun maksimum dərəcədə tükənməsini təmin edir və bununla da şəkər çıxışını (məhsuldarlığı) artırır. Bundan əlavə, utfelin həll bişirilməsi prosesi və onun kristallaşması zamanı saxarozanın yenidən kristallaşması

məhsullarının ümumi miqdarının azalması hesabına istehsalatda şəkər itkiləri də azaldılır [Ioelovich M., 2015].

Utfelin son qatılaşdırılması mərhələsində temperatur rejiminin 66,0–72,0°C intervalında ciddi şəkildə saxlanılması, kristallararası məhlulun özlülüyünün temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi ilə izah olunur [Şəkil 5]. Qrafikdən göründüyü kimi, məhz bu temperatur intervalında utfel daha hərəkətli olur, prosesin özü sürətlənir və kristallararası məhlulun maksimum dərəcədə tükənməsi üçün optimal şərait yaranır. Bununla yanaşı, I kristallaşma mərhələsinə aid utfelin axıcılığının onun özünün birinci şirəsi hesabına artırılması sayəsində əmələ gəlmiş saxaroz kristallarının həll olmasının (əriməsi) demək olar ki, tamamilə qarşısı alınır.

Hazır olmuş I kristallaşma mərhələsinə aid utfel dövrü fəaliyyətli sentrifuqalarda emal edilir və nəticədə ağ şəkər, birinci və ikinci şirələr əldə olunur [Mesa & Castro, 2020].



Şəkil 5. Doymuş şəkər məhlullarının özlülüyünün temperaturdan və təmizlik dərəcəsindən asılılığı

4.Nəticə

Saxarozanın kristallaşma prosesinin təklif olunan üsulla aparılma sxemi təqdim edilmişdir. Təklif olunan və artıq məlum olan kristallaşma üsulları ilə aparılmış proseslərin nəticələrini praktik olaraq müqayisə etmək üçün I kristallaşma mərhələsinə aid utfelin və ağ şəkərin əsas göstəriciləri cədvəldə təqdim olunmuşdur.

Məqalədə təqdim olunan məlumatlardan, o cümlədən iki üsulun müqayisə nəticələrindən belə qənaətə gəlmək olar ki:

1. birincisi, təklif olunan üsulda mövcud üsulla müqayisədə utfelin qatılaşdırılmasına və sentrifuqalanmasına xeyli az vaxt sərf olunur;
2. ikincisi, kristallararası məhlulun daha dərin tükənməsi baş verir ki, bu da öz növbəsində saxarozanın ümumi itkilərinin azalmasına (çəhrəng kütləsinə görə 0,03–0,05 %) və onun çıxışının artmasına (1,87 %) səbəb olur;
3. üçüncüsü, eyni anda ağ kristallik şəkərin fiziki-kimyəvi göstəriciləri də bir qədər yaxşılaşır.

5.REFERENCES

1. Lebedeva, N. N. (2013). *Development of effective technology for boiling masecuite of the first crystallization* (Candidate of Technical Sciences dissertation: specialty 05.18.05). Moscow: K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. (in Russian)
2. Petrov, S. M., Filatov, S. L., & Sharuda, I. V. (2011). Continuous vacuum apparatus as an energy-saving solution for the operation of the product department. *Saxhar*, 5, 59–63. (in Russian)

3. Petrov, S. M., Filatov, S. L., & Sharuda, I. V. (2013). Continuous boiling of first-product massecuite in horizontal vacuum apparatuses. *Sakhar*, 6, 56–61. (in Russian)
4. Slavyanskiy, A. A. (2012). *Sugar: purpose, properties and production* (textbook). Moscow, 238 p. (in Russian)
5. Slavyanskiy, A. A. (2006). *Technological equipment of sugar factories: classification, technical characteristics, calculations, layout: textbook for students of higher educational institutions studying in specialty 260203 "Technology of sugary products"*. Moscow, 72 p. (in Russian)
6. Slavyanskiy, A. A. (2007). *Centrifugation and its influence on sugar yield and quality*. Moscow. (in Russian)
7. Sharuda, I. V. (2014). Continuous vacuum apparatus: history of development. *Sakhar*, 1, 48–55. (in Russian)
8. Shtangeev, V. O. et al. (2004). *Modern technologies and equipment of beet sugar production* (Part 2) (Ed. V.O. Shtangeev). Kyiv: Tsukor Ukraini, 320 p. (in Russian)
9. Ensinas, A. V., Nebra, S. A., Lozano, M. A., & Serra, L. M. (2015). Analysis of process and energetic potential of plant biomass as a renewable source of biofuels – A review. *BioResources*, 10(1), 1879–1914. (in English)
10. Filho, N.A. (2012). *An energy analysis of crystallization by cooling in the sugarcane industry*. São Paulo: São Paulo School of Economics – FGV-EESP. (in Portuguese)
11. Grisi, E.F., Yusta, J.M., & Dufo-López, R. (2012). Opportunity costs for bioelectricity sales in Brazilian sucro-energetic industries. *Applied Energy*, 92, 860–867. (in English)
12. Ioelovich, M. (2015). Recent findings and the energetic potential of plant biomass as a renewable source of biofuels – A review. *BioResources*, 10(1), 1879–1914. (in English)
13. Mesa, L., & Castro, E. (2013). Revamping strategy of diversified industry of sugar cane for combined production of bioethanol and co-products. *Rev. Fac. Ing.*, 189–198. (in English)
14. Semenov, E.V., Slavyanskiy, A.A., & Mitroshina, D.P. (2021). Quantitative analysis of the process of suspension separation in the cavity between plates in the separator drum. *Chemical and Petroleum Engineering*, 5, 3–6. (in English)
15. Tkachenko, S. V., Sheiko, T. V., Petrenko, V. V., Anisimova, O. M., Kuznietsova, I. V., Khomichak, L. M., et al. (2020). Influence of crystallizing agent on sugar quality. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 19(4), 457–465. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0867> (in English)

ӘДӘБИҲАТ

1. Лебедева, Н. Н. (2013). Разработка эффективной технологии уваривания утфеля первой кристаллизации (дис. канд. техн. наук: специальность 05.18.05). Москва: Московский гос. ун-т технологий и управления им. К.Г. Разумовского.
2. Петров, С. М., Филатов, С. Л., & Шаруда, И. В. (2011). Вакуум-аппарат непрерывного действия – энергосберегающее решение работы продуктового отделения. *Сахар*, 5, 59–63.
3. Петров, С. М., Филатов, С. Л., & Шаруда, И. В. (2013). Непрерывное уваривание утфеля первого продукта в горизонтальных вакуум-аппаратах. *Сахар*, 6, 56–61.
4. Славянский, А. А. (2012). *Сахар: назначение, свойства и производство* (учеб. пособие). Москва, 238 с.
5. Славянский, А. А. (2006). *Технологическое оборудование сахарных заводов: классификация, техническая характеристика, расчёты, компоновка: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 260203 «Технология сахаристых продуктов»*. Москва, 72 с.

6. Славянский, А. А. (2007). *Центрифугирование и его влияние на выход и качество сахара*. Москва.
7. Шаруда, И. В. (2014). Вакуум-аппарат непрерывного действия: история развития. *Сахар*, 1, 48–55.
8. Штангеев, В. О. и др. (2004). *Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства производства* (Ч. 2) (Под ред. В.О. Штангеева). Киев: Цукор України, 320 с.
9. Ensinas, A. V., Nebra, S. A., Lozano, M. A., & Serra, L. M. (2015). Analysis of process and energetic potential of plant biomass as a renewable source of biofuels – A review.
10. Filho, N. A. (2012). *Uma análise energética da cristalização por resfriamento na indústria da cana-de-açúcar*. São Paulo: Escola de Economia de São Paulo – FGV-EESP.
11. Grisi, E. F., Yusta, J. M., & Dufo-López, R. (2012). Opportunity costs for bioelectricity sales in Brazilian sucro-energetic industries. *Applied Energy*, 92, 860–867.
12. Ioelovich, M. (2015). Recent findings and the energetic potential of plant biomass as a renewable source of biofuels – A review. *BioResources*, 10(1), 1879–1914.
13. Mesa, L., & Castro, E. (2013). Revamping strategy of diversified industry of sugar cane for combined production of bioethanol and co-products. *Rev. Fac. Ing.*, 189–198.
14. Semenov, E. V., Slavyanskiy, A. A., & Mitroshina, D. P. (2021). Quantitative analysis of the process of suspension separation in the cavity between plates in the separator drum. *Chemical and Petroleum Engineering*, 5, 3–6.
15. Tkachenko, S. V., Sheiko, T. V., Petrenko, V. V., Anisimova, O. M., Kuznietsova, I. V., Khomichak, L. M., et al. (2020). Influence of crystallizing agent on sugar quality. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 19(4), 457–465. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0867>