

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПОТАША
В ПЕННОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ**

С. Н. ЕНГИБАРЯН

Институт общей и неорганической химии им. М. Г. Манвеляна
НАН Республики Армения, Ереван

Поступило 30 VII 2007

Показано, что в условиях циркуляции небольшого количества частично ненасыщенного маточного раствора через решетку пенного кристаллизатора увеличение скорости охлаждения горячего насыщенного раствора поташа сопровождается уменьшением среднего размера кристаллов до значений, значительно превосходящих (почти в два раза) средний размер кристаллов, получаемых в вакуум-кристаллизационных аппаратах, а увеличение расхода частично ненасыщенного маточного раствора – повышением среднего размера и однородности кристаллов.

Рис. 6, библиографических ссылок 14.

Известно, что в высокопроизводительных вакуум-кристаллизационных аппаратах вследствие большого удельного теплосъема с небольшой фиксированной поверхности охлаждения образуются большие пересыщения, которые циркуляцией не удается достаточно быстро перераспределять по всему объему жидкой фазы. В результате скорость зародышеобразования превалирует над скоростью роста кристаллов, вследствие чего получается мелкокристаллический и полидисперсный продукт. Для получения более крупных и относительно однородных кристаллов более перспективны барботажные [1, 2] и пенные [3] кристаллизаторы с воздушным охлаждением, в которых теплосъем происходит по всему объему подвижной пены с постоянно флуктуирующей и обновляющейся с большой скоростью поверхностью контакта фаз (ПКФ). Однако в них воздухораспределительные насадки, сопла и решетки быстро зарастают солью вплоть до их забивки. Вместе с тем указанные аппараты могут оказаться весьма перспективными при положительном решении этой проблемы [4, 5]. Нашими исследованиями установлено [3], что циркуляция

небольшого количества частично ненасыщенного при температуре кристаллизации маточного раствора (ч.н.м.р.) через решетку пенного кристаллизатора предотвращает инкрустацию отверстий решетки, что послужило основой для постановки поставленной задачи. Исследований по данному вопросу в литературе не обнаружено.

Целью настоящей работы является изучение влияния скорости охлаждения горячего насыщенного раствора поташа и расхода циркулирующего ч.н.м.р на средний размер и однородность кристаллов ($K_2CO_3 \cdot 1,5 H_2O$), получаемых в пенном кристаллизаторе.

Экспериментальная часть

Процесс кристаллизации полутораводного кристаллогидрата поташа ($K_2CO_3 \cdot 1,5 H_2O$) из раствора, насыщенного при температуре раствора $t_{кр.р} = 100 \pm 0,5^\circ C$, изучен на плоской модели пенного кристаллизатора при температуре кристаллизации $t_{кр.} = 55 \pm 0,5^\circ C$, позволяющей одновременно при помощи кинофотосъемки определять среднестатистические значения агрегатной и ячейковой ПКФ пенного слоя [6]. Было показано [7-9], что тепло- и массоперенос на агрегатной ПКФ происходят путем турбулентной диффузии, а на ячейковой ПКФ равновесие процессов тепло- и массопереноса наступает на стадии их образования, т.е. в промежутках образования и разрушения ячеек пены тепло- и массоперенос на их поверхности не протекают. Установлено также, что газообмен ячейкового газонаполнения с основным потоком воздуха составляет не более 3% общего потока воздуха [10]. На основании вышеизложенного, одновременного определения ПКФ киносъемкой и химическим методом, средних значений и дисперсий агрегатной ПКФ установлено [8,10], что в случае хорошо растворимого газа (в данном случае, водяных паров) тепло- и массоперенос в пенном слое протекают в основном (более 95%) на агрегатной (активной) ПКФ. Поэтому для определения истинных значений коэффициентов «сухой» α и «мокрой» β_B теплопередачи и удельной скорости охлаждения раствора

$q_{уд} = q_{уд}^{сух} + q_{уд}^{мокр} = (\alpha \cdot \Delta t + \beta_B \cdot r \cdot \Delta p) \text{ Вт.м}^2$ (где r – скрытая теплота парообразования при температуре кристаллизации, $кДж \cdot кг^{-1}$; Δt и Δp – движущие силы процессов «сухой» и «мокрой» теплопередач, соответственно, $^\circ C$ и $П.$), отнесенных к единице ПКФ, при помощи киносъемки определена только агрегатная ПКФ.

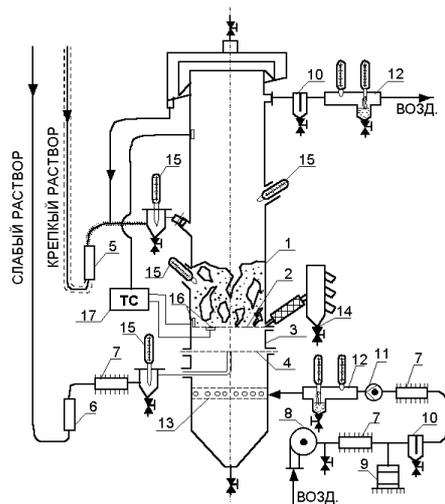


Рис. 1. Схема установки пенного кристаллизатора с плоской моделью пенного кристаллизатора: 1 – камера кристаллизации (крепкого раствора); 2 – решетка крепкого раствора; 3 – камера слабого раствора; 4 – решетка камеры слабого раствора; 5,6 – ротаметры; 7 – теплообменник; 8 – воздуходувка; 9 – испаритель; 10 – каплеотделитель; 11 – расходомер воздуха; 12 – психрометр; 13 – воздухораспределительная коробка с вертикальной решеткой; 14 – сливная труба; 15 – термометр; 16 – тензодатчик давления; 17 – тензостанция.

Схематически установка кристаллизации показана на рис. 1. Пенный кристаллизатор состоит из камеры кристаллизации 1 с переточной решеткой 2 и установленной под ним камерой небольшой высоты 3 ($h_k=0,05$ м) с переточной решеткой 4, куда подается ч.н.р. с плотностью $\rho_{сл.р.}=1540$ кг/м³ и температурой $t_{сл.р.}=50 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Сечение обеих камер – $0,2 \times 0,014$ м². Горячий насыщенный раствор поташа с температурой $t_{кр.р.} = 100 \pm 0,5^\circ\text{C}$ с плотностью $\rho_{кр.р.}=1640$ кг/м³ из бака приготовления крепкого раствора подается в бак постоянного уровня с обратным холодильником (на рисунке не показано), откуда через расходомер 5 поступает в камеру кристаллизации. Слабый раствор из бака постоянного уровня (на рисунке не показано) через расходомер 6, теплообменник 7 подается в камеру слабого раствора. Воздух из воздуходувки 8 через теплообменник 7, испаритель 9, каплеуловитель 10, теплообменник 7, расходомер 11, психрометр 12, коробку с решеткой 13 равномерного распределения воздуха подается под камеру слабого раствора. Скорость охлаждения раствора регулируется расходом, влажностью и температурой воздуха. Влажность воздуха при данной температуре регулируется подачей водяных паров от испарителя 9 в поток воздуха. Готовый продукт в виде пульпы из кристаллизатора выводится через сливную трубу 14, штуцер которой служит для создания нужной высоты порога. О наличии инкрустации отверстий решетки камеры кристаллизации и о ходе процесса кристаллизации судят по поведению перепада давления на решетке камеры кристаллизации и на

газожидкостном слое, которые параллельно определяют также при помощи тензодатчика давления 16 записью пульсации перепада давления на диаграммной ленте тензостанции 17. Обработкой осциллограмм весовым методом определяют среднестатистическое значение перепада давления $\overline{\Delta p}$ и критерий гидродинамического состояния структуры пенного слоя ϵ , характеризующий меру инерционных сил единицы массы жидкости $\epsilon = \left| \frac{\Delta \overline{\Delta p}}{\overline{\Delta p}} \right|$ [6]. Количество испарившейся влаги и отводимого воздухом тепла находят по расходу воздуха и показаниям психрометров 12, установленных до и после пенного кристаллизатора. Движущую силу процесса массоотдачи водяных паров в потоке воздуха ("мокрая" теплопередача) рассчитывают по уравнению:

$$\overline{\Delta p} = [(P_p - P_1) - (P_p - P_2)] / \ln [(P_p - P_1) / (P_p - P_2)], \text{ П,} \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – парциальные давления водяных паров в воздухе на входе и на выходе, П; P_p – равновесное парциальное давление водяных паров в воздухе над раствором при температуре слоя, П. Средний размер кристаллов определяют по данным ситового анализа и сепарации согласно уравнению

$$\overline{d}_{\text{кр}} = m_1 d_1 + m_2 d_2 + \dots + m_n d_n = \sum m_i d_i, \quad (2)$$

где m_1, m_2, \dots, m_n – массовые доли фракций; d_1, d_2, \dots, d_n – средний размер кристаллов каждой фракции, м. Однородность получаемых кристаллов оценивают дисперсией средних размеров кристаллов фракций. Для сравнения разных проб определяют коэффициент вариации, который представляет собой отношение дисперсии к среднему значению размеров кристаллов:

$$\eta_{d_{\text{кр}}} = \sigma_{d_{\text{кр}}} / \overline{d}_{\text{кр}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Для анализа процессов тепло- и массопередачи использованы данные по поведению критерия ϵ , полученные нами на другой дисперсной системе [11], поскольку характер ее поведения одинаков.

Графики на рис. 2 показывают, что увеличение высоты исходного слоя пульпы h_0 при постоянной скорости воздуха на полном сечении аппарата сопровождается некоторым уменьшением α и β_v . Аналогичное поведение α и β_v наблюдается также при других скоростях воздуха. Некоторое уменьшение ϵ_v при увеличении h_0 наблюдалось также и в другой системе [11]. Полученные нами данные поведения β_v совпадают с литературными [12].

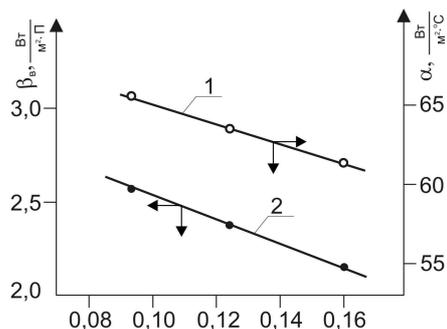


Рис. 2. Зависимость коэффициентов "сухой" α , $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ и "мокрой" β , $Вт/(м^2 \cdot \Pi)$ теплопередачи от высоты исходного слоя раствора h_0 , м.
 $1 - \alpha = f_1(h_0)$; $2 - \beta = f_2(h_0)$.

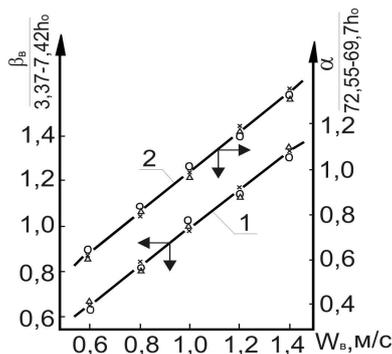


Рис. 3 Зависимость коэффициентов "сухой" и "мокрой" теплопередачи от скорости воздуха w_b с учетом изменения h_0 ; $1 - \beta = f_1(w_b)$; $2 - \alpha = f_2(w_b)$; $x - h_n = 0,095$ м; $o - h_n = 0,125$ м; $(-h_n) = 0,16$ м

Однако в них β найдены на основании ПКФ, определенных химическим методом [13]. Причина такого поведения β обусловлена тем, что рост агрегатной ПКФ при увеличении h_0 и постоянном значении w_b не сопровождается соответствующим ростом ее активности (т.е. скорости её флуктуации), а следовательно, и турбулентности газовой фазы, о чем свидетельствует поведение ϵ [11]. Этим объясняется известное положение о том, что интенсивность процессов тепло- и массопередачи при пенном режиме взаимодействия на двух решетках с небольшим слоем пены на каждой из них оказывается выше, чем на одной решетке со слоем пены суммарной высоты. Графоаналитическая обработка полученных зависимостей α и β от h_0 дает следующие уравнения связи:

$$\alpha = (72,55 - 69,7 h_0), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}), \quad (4)$$

$$\beta = (3,37 - 7,42 h_0) \cdot 10^{-6}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \Pi), \quad (5)$$

где h_0 выражено в м.

На рис. 3 показана зависимость α и β от скорости воздуха w_b с учетом изменения h_0 . Рост α и β при увеличении w_b обусловлен повышением турбулентности газовой фазы вследствие роста флуктуации агрегатной ПКФ, о чем свидетельствует поведение ϵ [11]. Графоаналитическая обработка полученных зависимостей дает следующие уравнения связи между ними:

$$\alpha = ((72,55 - 69,7 h_0) (0,88 w_b + 0,108)), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}) \quad (6)$$

$$\beta = (3,37 - 7,42 h_0) \cdot (0,8 w_b + 0,145), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \Pi), \quad (7)$$

где h_0 выражена в m , а w_v – в m/c . Следует отметить, что с целью поддержания постоянства температуры кристаллизации в пенном слое при изменении w_v приходится почти эквивалентно менять и плотность орошения раствора L . Ранее было установлено, что в случае испарения влаги из 1,8 n раствора NaOH в поток смеси CO_2 (3,0 % об.) с воздухом β_v не зависит от L [11]. Следовательно, можно полагать, что и в данном случае тоже α и β_v не зависят от L , т.е. в уравнениях (6) и (7) рост α и β_v обусловлен увеличением w_v с учетом изменения h_0 . Плотность орошения влияет на α и β_v путем изменения h_0 . Уравнения (6) и (7) справедливы в следующих пределах изменения гидродинамических параметров: $w_v = 0,6-1,4 m/c$; $h_0 = 0,095-0,16 m$; $L_{кр.р} = (0,75-2,08) \cdot 10^{-3} m^3/(m^2 \cdot c)$; $L_{сл.р.} = (0,078-0,2) \cdot L_{кр.р.}$, при относительной влажности воздуха $\varphi = 63$ % и температуре $t = 24^\circ C$. Полученные значения α и β_v показывают, что в исследованном диапазоне изменения гидродинамических параметров, из-за отсутствия полной аналогии между процессами тепло- и массопередачи (что является следствием отсутствия полного подобия полей температур и концентраций [14]), отношение коэффициентов "сухой" и "мокрой" теплопередачи закономерно меняется в некотором, но небольшом интервале – $\alpha/(\beta_v \cdot r) = 0,20-0,23$. Для инженерных расчетов эти отклонения можно не учитывать.

На основании полученных значений α и β_v рассчитаны истинные значения удельной скорости охлаждения раствора $q_{y\partial}$ и установлена зависимость среднего размера кристаллов от скорости охлаждения раствора: $\bar{d}_{кр} = 17,68 \cdot q_{y\partial}^{-0,44} \cdot 10^{-3} m$ (8). Высокое значение коэффициента корреляции – $R^2 = 0,986$ говорит о тесной связи между ними. Установлено также наличие линейной связи между удельными скоростями охлаждения раствора испарением водяных паров в потоке воздуха $q_{y\partial}^{мокр}$ и нагрева воздуха раствором $q_{y\partial}^{сух}$: $q_{y\partial}^{мокр} = 3,51 \cdot q_{y\partial}^{сух} - 36,87$, $R^2 = 0,984$. Полученный график на рис. 4 показывает закономерное уменьшение $\bar{d}_{кр}$ при увеличении

удельной скорости охлаждения раствора $q_{y\partial} = q_{y\partial}^{сух} + q_{y\partial}^{мокр} \text{ Вт} \cdot m^2$. Уравнение (8) справедливо в тех же пределах изменения гидродинамических параметров, что и уравнения (6) и (7).

Результаты исследований показывают, что при $w_v = 1,4 m/c$ и $h_0 = 0,091 m$, обеспечивающих наибольшее суммарное значение коэффициентов "мокрой" и "сухой" теплопередачи, т.е. при самой высокой опробованной нами скорости охлаждения, средний размер получаемых кристаллов составляет $\bar{d}_{кр} = 0,384 \cdot 10^{-3} m$. Это значение при указанной объемной скорости охлаждения намного (почти в два раза) превышает средний размер кристаллов, получаемых в вакуум-кристаллизационных

аппаратах $\bar{d}_{кр} = (0,1 \div 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [5]. При этом в некоторой степени увеличивается также и степень однородности кристаллов.

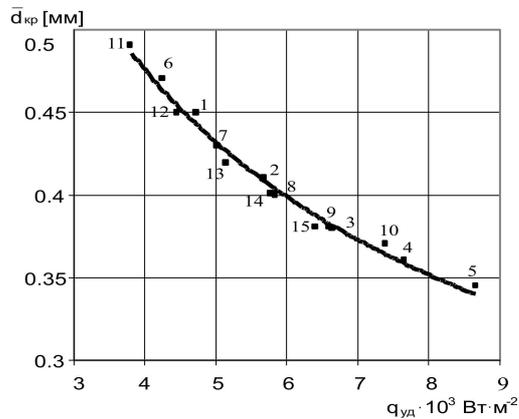


Рис. 4. Зависимость среднего размера кристаллов $\bar{d}_{кр} \cdot 10^{-3}$ от истинной скорости охлаждения раствора $q_{уд}$, $Вт \cdot м^{-2}$; 1-5- $hn=0,095 \text{ м}$; $W_B=0,6$; $0,8$; $1,0$; $1,2$; $1,4 \text{ м/с}$; 6-10 $hn=0,125 \text{ м}$; $W_B=0,6$; $0,8$; $1,0$; $1,2$; $1,4 \text{ м/с}$; 11-15- $hn=0,16 \text{ м}$; $W_B=0,6$; $0,8$; $1,0$; $1,2$; $1,4 \text{ м/с}$.

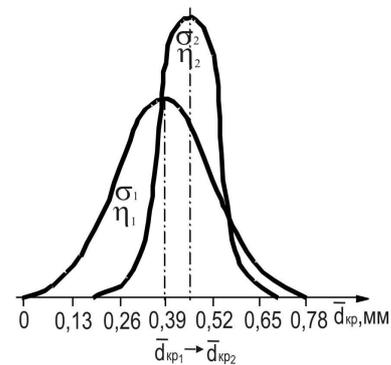


Рис. 5. Распределение размеров кристаллов: 1- $L_{сл.р.}=0,14 \text{ } L_{кр.р.}$; 2- $L_{сл.р.}=0,30 \text{ } L_{кр.р.}$; $L_{кр.р.}=12,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(м^2 \cdot с)$; $w_B=1,0 \text{ м/с}$; $hn=0,095 \text{ м}$.

Исследования показывают, что при постоянной скорости охлаждения увеличение расхода ч.н.м.р. сопровождается повышением среднего размера и однородности кристаллов. Так, например, при постоянной скорости воздуха $w_B=1,0 \text{ м/с}$, высоте порога $h_n=0,095 \text{ м}$, относительном влагосодержании воздуха $\phi = 63\%$ и температуре $t = 24^\circ \text{ С}$ при увеличении расхода ч.н.м.р. от $0,353$ до $1,430 \text{ м}^3/(м^2 \cdot с)$, т.е. от $7,8$ до $30,0\%$ $L_{кр.р.}$, средний размер кристаллов растет от $0,33 \cdot 10^{-3}$ до $0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Поведение $\bar{d}_{кр}$ при этом хорошо описывается уравнением

$$\bar{d}_{кр} = 0,106 \cdot L_{сл.р.}^{0,16} \text{ м} \quad (9)$$

Изменение степени однородности получаемых кристаллов для двух значений расхода ч.н.м.р. ($14,0$ и 30% от $L_{кр.р.}$) показано на рис. 5. Изменение параметров распределения для приведенных двух случаев хорошо отражает факт увеличения однородности кристаллов. Помимо этого, происходит также рост среднего размера кристаллов $\bar{d}_{кр}$, о чем свидетельствует сдвиг кривого распределения в сторону больших значений $\bar{d}_{кр}$. Расчеты показывают, что при этом коэффициент вариации (однородность получаемых кристаллов) растет примерно в $3,2$ раза. Таким образом, циркуляция ч.н.м.р. через решетку пенного кристаллизатора предотвращает

инкрустацию отверстий решетки и обеспечивает регулируемый рост среднего размера и однородность кристаллов.

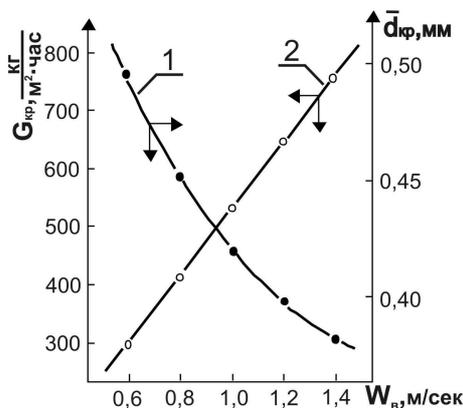


Рис. 6. Зависимость производительности кристаллизатора $G_{кр.}$, кг/(м²·ч) (1) и среднего размера кристаллов $\bar{d}_{кр} \cdot 10^{-3}$ м (2) от скорости воздуха w_v , м/с; $h_n=0,16$ м; $L_{кр.р.}=(7,5-20,8) \cdot 10^{-4}$ м³/(м²·с); $L_{сл.р.}=(0,078-0,31)L_{кр.р.}$; $t_{сл.р.}=50 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

На рис. 6 показаны зависимости производительности кристаллизатора и среднего размера кристаллов от скорости воздуха. Как видно, полученные значения $\bar{d}_{кр}$ и $G_{кр.}$ достаточно высоки. Например, при $w_v=1,4$ м/с, $h_n=0,16$ м, $\bar{d}_{кр}=0,384 \cdot 10^{-3}$ м, $G_{кр.}=700$ кг/(м²·ч). Если учесть, что пенные аппараты позволяют применять более высокие скорости воздуха, а также возможность применения многополочного аппарата, то можно сказать, что они найдут широкое применение в промышленности.

Таким образом, при испытанной максимальной скорости охлаждения и циркуляции небольшого количества ч.н.м.р. пенные кристаллизаторы обеспечивают получение кристаллов с достаточно высоким значением среднего размера и высокой производительности, а изменением расхода циркулирующего ч.н.м.р. обеспечивается регулируемый рост среднего размера и однородность кристаллов.

Разработанный способ повышения среднего размера и однородности полутораводного кристаллогидрата поташа можно применять для кристаллизаций многих солей, проводимых в вакуум-кристаллизационных аппаратах.

**ԼՈՒԾՈՒՅԹԻՑ ՊՈՏԱՇԻ ԲՅՈՒՐԵՂԱՑՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՓՐՓՐԱՇԵՐՏԱՅԻՆ ԲՅՈՒՐԵՂԱՑՈՒՑԻՉՈՒՄ**

Ս. Ն. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ

Ցույց է տրված, որ փրփրաշերտային բյուրեղացուցիչի բյուրեղացման խցիկի ափսեի միջով բյուրեղացման ջերմաստիճանում մասամբ չհագեցած մայր լուծույթի փոքր քանակության շրջապտույտի պայմաններում պոտաշի տաք հագեցած լուծույթի սառեցման արագության մեծացման դեպքում բյուրեղների միջին չափսը փոքրանում է, սակայն փորձարկված սառեցման ամենամեծ արագության դեպքում մնում է զգալի չափով մեծ (մինչև 2 անգամ) վակուում բյուրեղացուցիչում ստացվող բյուրեղների միջին չափսի համեմատությամբ, իսկ մասամբ չհագեցած մայր լուծույթի ծախսի մեծացման դեպքում բյուրեղների միջին չափսը և միատարրությունը մեծանում է:

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF POTASH FROM
THE FOAM CRYSTALLIZER SOLUTION**

S. N. YENGIBARYAN

The Influence of the real rate of the vapor-phase cooling on the medium size and homogeneity of the crystals under the temperature of potash air saturated solution $T=373 \pm 0,5$ K and the circulation of the partly non-saturated one under the crystallization temperature $T_{cr} = 328 \pm 0,5$ K of mother waters through the grate of the foam crystallizer has been studied on the model of flat foam device. A flat model having profile sizes $0,2 \times 0,014$ m² simultaneously allows to determine (using photography and film-shooting) average-statistical values of phase contact surface – the aggregate (active) and nuclear (passive) ones. Earlier on a similar dispersion “the gas-liquid“, in the case of well soluble gas, it was established that the heat and mass transfer in the foam layer mainly take their course (more than 95%) on an aggregate phase contact surface. That’s why the cooling rate (the sum of the real values of the coefficients of “dry “ and “wet“ heat transfer) is referred to the unit of aggregate phase contact surface. The homogeneity of the crystals was valued at ratio of dispersion to the average size of crystals determined with the help of screen analysis.

It was determined that in case of the circulation of a little quantity of partly non-saturated mother waters through the grate of the foam crystallizer, the increase of the rate of cooling is accompanied by the reduction of the average size of the crystals to values which noticeably (nearly twice) exceed the average size of the crystals produced in the vacuum-crystallizing device and the increase of circulation rate – by the increase of the average size and homogeneity of the crystals. The circulation of the partly non-saturated mother waters prevents the incrustation of holes on the grate of the foam crystallizer and, by means of dilution some of the unsteady germs of the crystals, creates favorable conditions for the growth of medium size and homogeneity of the crystals.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Павлов В.М. // Труды Уральского НИ химического института. Свердловск, УНИХИМ, 1958, вып.5, с. 291.
- [2] Пат. 1084240 (1960). ФРГ// С.А. 1960, 66, №1, 13435.
- [3] Сафарян М.А., Енгибарян С.Н., Мосинян Ф.Г. А.с. 1077616 (1984) // Б.И. 1984, №9.

- [4] *Верегин А.Н., Щупляк И.А., Михалев М.Ф.* Кристаллизация в дисперсных системах: инженерные методы расчета. Л., Химия, 1986, с. 240.
- [5] *Матусевич Л.Н.* Кристаллизация из растворов в химической промышленности. М., Химия, 1968, с. 304.
- [6] *Енгибарян С.Н., Мухленов И.П., Тарат Э.Я.* // ЖПХ, 1970, т. 43, №5, с.1178.
- [7] *Мухленов И.П., Тарат Э.Я., Енгибарян С.Н.* // ЖПХ, 1975, т. 48, №5, с.1010.
- [8] *Енгибарян С.Н., Мухленов И.П., Тарат Э.Я.* // Арм. хим. ж., 1979, т.32, №5, с.360.
- [9] *Енгибарян С.Н., Костанян П.И., Таманян К.С.* // Арм. хим. ж., 1983, т. 36, №2, с.123.
- [10] *Мухленов И.П., Тарат Э.Я., Енгибарян С.Н. Бартов А.Т.* // Изв вузов, Химия и химическая технология, 1976, т. 19, вып. 1, с.134.
- [11] *Енгибарян С.Н., Мухленов И.П., Тарат Э.Я.* // Изв АН Арм ССР, сер ТН, 1978, т.31, №2, с.49.
- [12] *Родионов А.И., Винтер А.А.* // Труды МХТИ им Д.М.Менделеева. М., МХТИ, 1966, вып.5, с.11.
- [13] *Родионов А.И.* // Изв вузов, Химия и химическая технология, М., 1966, вып.6, с. 970.
- [14] *Чернобыльский И.И., Кремнев О.А., Чавдаров А.С.* Теплоиспользующие установки для кондиционирования воздуха. Киев, АН УССР, 1958, с. 67.