

**Література**

1. Укрмап українские учебники [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ukrmap.su/ru-g8/890.html>
2. Newsru Надежды на "Тритона" практически нет [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.com/russia/06oct2001/hope\\_triton.html](http://www.com/russia/06oct2001/hope_triton.html)
3. Petrimazepa 2001 г. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://petrimazepa.com/ua/not-us.html/>
4. Newsru Россия может изменить систему экспорта алмазов [Электронный ресурс] / доступно по адресу: [http://www.newsru.com/finance/02oct2001/gohran.html /](http://www.newsru.com/finance/02oct2001/gohran.html/)
5. Newsru Якутия обвиняет De Beers в занижении цен на алмазы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://palm.newsru.com/finance/03Oct2001/debeers.html/>
6. Newsru De Beers и "АЛРОСА" подписали новое торговое соглашение [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.newsru.com/finance/17Dec2001/almazy.html/>
7. Михайлов, В. И. Причины сероводородного загрязнения водных объектов и опасность отравления этим газом [Текст] / В. И. Михайлов, А. Б. Капочкина, Б. Б. Капочкин // Морской гидрофизический институт НАН Украины, сборник научных трудов Системы контроля окружающей среды. – 2011. – Вып. 15. – С. 323–327.
8. Михайлов, В. И. Взаимодействие в системе Литосфера – Гидросфера [Текст] / В. И. Михайлов, А. Б. Капочкина, Б. Б. Капочкин. – Астропринт. Одесса, 2010. – 153 с.
9. Гладких, І. І. Формування погодних умов в морських та прибережних районах [Текст]: монографія / І. І. Гладких, Б. Б. Капочкін, Н. В. Кучеренко, В. В. Лисоводський. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – 142 с.
10. Конкин, В. В. Классификация апвеллингов по признаку влияющих факторов [Текст]: междунар. науч. конф. / В. В. Конкин, Б. Б. Капочкин, Н. В. Кучеренко, В. В. Лисоводский // Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интеграционных процессов в образовании и науке. – Севастополь, 2006 – С. 26.
11. Ловенкова, Е. А. Климатические характеристики апвеллинга у побережья Крыма и их изменчивость [Текст] /

Е. А. Ловенкова, А. Б. Полонский // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 5. – С. 44–52.

**References**

1. Ukrmap Ukrainian textbooks. Available at: <http://ukrmap.su/ru-g8/890.html/>
2. Newsru Hopes for a "Triton" virtually none. Available at: [http://www.com/russia/06oct2001/hope\\_triton.html/](http://www.com/russia/06oct2001/hope_triton.html/)
3. Petrimazepa 2001. Available at: <http://petrimazepa.com/ua/not-us.html/>
4. Newsru Russia can change the system of diamond exports. Available at: <http://www.newsru.com/finance/02oct2001/gohran.html/>
5. Newsru Yakutia accuses De Beers in depressed prices for diamonds. Available at: <http://palm.newsru.com/finance/03Oct2001/debeers.html/>
6. Newsru De Beers and "ALROSA" signed a new trade agreement. Available at: <http://www.newsru.com/finance/17Dec2001/almazy.html/>
7. Mikhaylov, V., Kapochkina, A., Kapochkin, B. (2011). Causes of hydrogen sulphide contamination water objects and toxic hazard by this gas. Marine hydrophysical institute of NAS of Ukraine, collection of scientific papers Environmental Management Systems, 15, 323–327.
8. Mikhaylov, V., Kapochkina, A., Kapochkin, B. (2010). Interaction in the lithosphere – hydrosphere. Astroprint. Odessa, 153.
9. Gladkikh, I., Kapochkin, B., Kucherenko, N., Lisovodskyy, V. (2007). Formation weather conditions in marine and coastal areas Monograph. Odessa: Zovnishreklam-servis, 142.
10. Konkin, V., Kapochkin, B., Kucherenko, N., Lisovodsky, V. (2006). Classification of upwelling on the basis of the influencing factors. Fundamental research on crucial problems of the natural sciences on the basis of integration processes education and Science: int. scientific. Sevastopol, 26.
11. Lovenkova, E., Polonsky, A. (2005). Climatic characteristics of upwelling off the coast of the Crimea and their variability. Meteorology and Hydrology, 5, 44–52.

*Дата надходження рукопису 16.03.2015*

**Капочкина Маргарита Борисовна**, научный сотрудник, научно-исследовательский центр, воинская часть А1113 МО Украины, ул. Фонтанская дорога, 4, г. Одесса, Украина, 65009  
E-mail: [margo-92@ukr.net](mailto:margo-92@ukr.net)

**Зорин Вячеслав Юрьевич**, начальник управления научно-исследовательского центра, Воинская часть А1113 МО Украины, ул. Фонтанская дорога, 4, г. Одесса, Украина, 65009

УДК 532.73-3

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40619

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗЧИНЕННЯ ПОЛІСАХАРИДІВ

© Л. І. Ружинська, Н. М. Булах

*Отримані експериментальні дані залежностей густини та в'язкості розчинів мальтодекстрину від температури, необхідні для розрахунку апаратів для концентрування розчинів при проектуванні нового та модернізації існуючого промислового устаткування. Визначена рівноважна концентрація розчинів мальтодекстрину.*

*Побудована та розв'язана математична модель розчинення полісахаридів в роторно-дисковому плівковому випарному апараті. Отримана схема, яка відображає градієнт концентрацій в пристінному до диску шарі розчиненої речовини*

**Ключові слова:** роторно-дисковий плівковий випарний апарат, полісахариди, мальтодекстрин, розчин, концентрація, густина, в'язкість

*Experimental data of dependence of density and viscosity of maltodextrin solutions from temperature which is necessary for evaporative apparatus calculation to projection and modernization of industrial arrangement are received. Equilibrium concentration of maltodextrin solutions is determined.*

*Mathematic model of polysaccharide dissolution in rotary-disk tape evaporative apparatus is calculated and constructed. The scheme that demonstrate gradient of concentration in the near-wall layer of soluble substance is received*

**Keywords:** rotary-disk tape evaporative apparatus, polysaccharides, maltodextrin, solution, concentration, density, viscosity

### 1. Вступ

У виробництві мальтодекстринів після проведення процесів біосинтезу необхідно виконати технологічні операції, пов'язані з концентруванням і зневодненням цільового продукту. Сьогодні такі процеси проводять в роторно-плівкових випарних апаратах, що працюють під вакуумом. Попри велику інтенсивність процесу необхідність підтримання вакууму пов'язана з труднощами забезпечення герметичності з'єднань апарату, а також з високими енерговитратами на підтримання вакууму.

На наш погляд більш перспективним є застосування роторно-дискового плівкового апарату. Введення в експлуатацію таких апаратів гальмується відсутністю інформації про особливості проведення процесів упарювання продуктів біосинтезу, зокрема мальтодекстрину; а також даних про фізичні властивості розчинів, густину та в'язкість, які впливають на гідродинамічну обстановку в апараті.

### 2. Постановка проблеми

При використанні роторно-дискового плівкового випарного апарату процес зневоднення складається з наступних стадій:

1. Формування плівки рідини на поверхні диску при виході останнього з робочого об'єму.

2. Теплові процеси, що викликають випарювання рідини з поверхні плівки.

3. Розчинення зневодненої плівки рідини при контакті її з робочим об'ємом.

Апарат працює циклічно і безперервно, що зумовлюється обертовим рухом дисків апарату. Це викликає багаторазове повторення вищезазначених операцій [1].

Розміщені на валу апарату диски приводяться в обертовий рух за допомогою приводу. Нижня частина дисків, яка занурена в об'єм розчину, що концентрується, при обертанні захоплює частину рідини (плівку) і виносить її в зону контакту з теплоносієм (стадія 1). Вважаємо, що в процесі теплообміну вся кількість тепла йде на процес випарювання вологи з плівки, при цьому поверхня диску не нагрівається.

Для здійснення необхідних процесів теплома-сообміну газоподібний теплоносій направляється в канали, що утворюються між паралельно розташованими дисками. Теплоносій напрямляється в бік протилежний до обертання дисків, що сприяє інтенсивному теплома-сообміну (стадія 2).

Пройшовши зону контакту з теплоносієм, диски знову занурюються в об'єм. При цьому зневоднена плівка рідини на диску розчиняється і переходить в робочий об'єм (стадія 3).

У разі виникнення перегріву (вище 40 °С) рідини, що концентрується, відбувається подача холодного теплоносія (вода) в теплообмінну сорочку апарату. Встановлена між рідиною та теплоносієм перегородка запобігає винесенню об'єму рідини, що концентрується в газопровід при високих швидкостях теплоносія (більше 10 м/с) [2].

### 3. Літературний огляд

Для вивчення процесу зневоднення у вищеприписаному апараті вже було розглянуто дві стадії процесу.

Формування плівки рідини на поверхні диску при виході його з робочого об'єму розглядається в роботі [3]. Теплові процеси, що викликають випарювання рідини з поверхні плівки розглянуті в роботі [4].

Отже для повного вивчення процесів, що відбуваються в апараті, необхідно розглянути процес розчинення зневодненої плівки рідини при контакті її з робочим об'ємом.

### 4. Побудова математичної моделі розчинення

Побудуємо розрахункову схему апарату. Враховуючи геометричну форму диску, обираємо циліндричну систему координат. Початок координат розміщуємо на перетині осі обертання з площиною диску.

Розрахункова схема апарату з одним диском, що обертається, зображена на рис. 1.

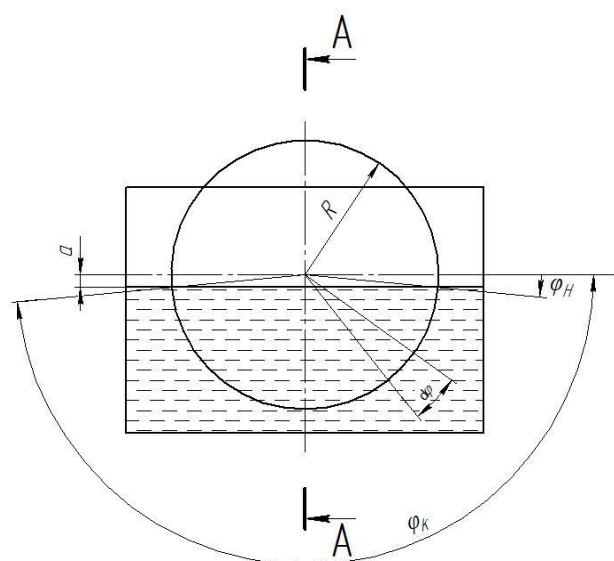


Рис. 1. Схема кутів диску

Схема диску в розрізі зображена на рис. 2.

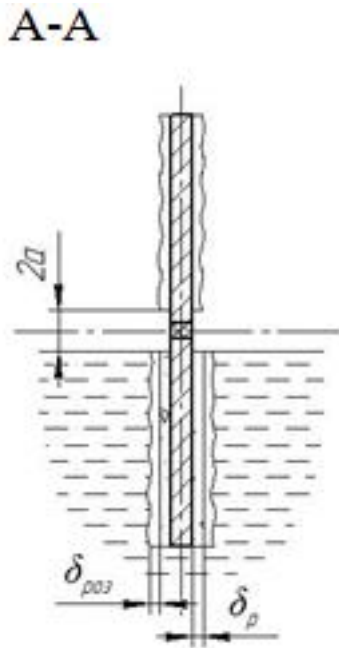


Рис. 2. Схема диску в розрізі:  $\delta_{PP}$  – товщина шару розчиненої речовини,  $\delta_{POZ}$  – товщина шару розчину в пристінному шарі

Площа елементарного сектору диску [5]:

$$df = \frac{\pi R^2 d\varphi}{360} - \frac{\pi a^2 d\varphi}{360(\sin \varphi)^2} = \frac{\pi}{360} d\varphi \left( R^2 - \frac{a^2}{(\sin \varphi)^2} \right). \quad (1)$$

Елементарний сектор диску апарату зображений на рис. 3.

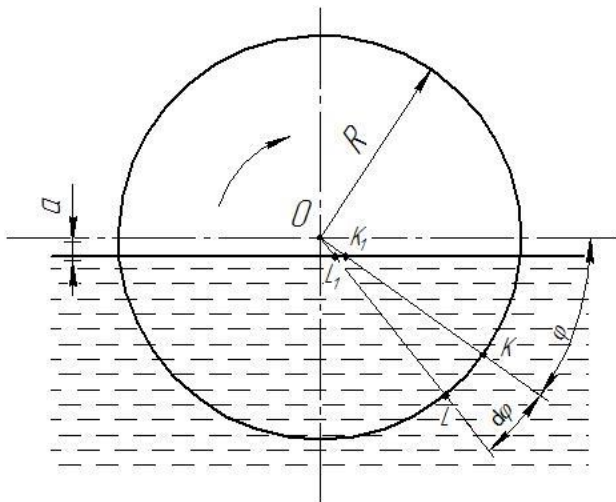


Рис. 3. Площа елементарного сектору розчиненої речовини, що утворюється при першому проході

Шар зневодненого продукту

$$dV = \delta_{PP} df, \quad (2)$$

але

$$\delta_{PP} = f_1(\varphi), \quad (3)$$

оскільки при проходженні диску зі збільшенням  $\varphi$  розчиняється  $\delta_{PP}$ .

Пристінний шар розчину продукту:

$$\delta_{POZ} = f_2(\varphi). \quad (4)$$

Нехай розчинення зневодненого продукту відбувається рівномірно з усієї поверхні елементарного сектору. Тоді в результаті розчинення товщина шару зневодненого продукту буде змінюватись в процесі обертання диску у розчині. Розчинений продукт переходить у пристінний шар, збільшуючи концентрацію розчину в ньому.

Зміна концентрації розчину впливає на густину, в'язкість та інші властивості розчину, а, отже, і на гідродинаміку руху в пристінному шарі.

Складаємо рівняння матеріального балансу для зневодненого шару. При русі диску з положення, що відповідає перерізу  $KK_1$  у положення  $LL_1$  маса зневодненого продукту змінюється на величину:

$$dM_{KK_1LL_1} = \frac{\rho_{PP} \cdot d\delta_{PP}(\varphi) \cdot d\varphi \cdot df}{d\varphi} \quad (5)$$

з одного боку. При цьому маса розчиненої речовини змінюється. Маса елементарного об'єму:

$$dM_{PP} = dm + \frac{dm}{d\tau} d\tau, \quad (6)$$

тоді зміна маси на цій ділянці:

$$dM_1 = dm - \left( dm + \frac{dm}{d\tau} d\tau \right) = -\frac{dm}{d\tau} d\tau. \quad (7)$$

Ця маса зневодненого продукту переходить в пристінний шар розчину шляхом масовіддачі:

$$dM_2 = \beta \cdot (c^* - c) \cdot ds \cdot d\tau. \quad (8)$$

Отже, прирівнюючи  $dM_1 = dM_2$ , отримаємо:

$$-\frac{dm}{d\tau} d\tau = \beta \cdot (c^* - c) \cdot ds \cdot d\tau, \quad (9)$$

$$-\frac{dm}{d\tau} = \beta \cdot (c^* - c) \cdot ds. \quad (10)$$

Оскільки  $ds$  не залежить від часу:

$$-\frac{\rho_{PP} \cdot d\delta_{PP}}{d\tau} ds = \beta \cdot (c^* - c) \cdot ds, \quad (11)$$

$$-\frac{\rho_{PP} \cdot d\delta_{PP}}{d\tau} = \beta \cdot (c^* - c). \quad (12)$$

Оскільки  $\tau = \frac{\varphi}{\omega}$ , то

$$\frac{d\delta_{PP}}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{d\delta_{PP}}{d\varphi} \cdot \omega. \quad (13)$$

Остаточно записуємо:

$$\omega \cdot \rho_{PP} \cdot \frac{d\delta_{PP}}{d\varphi} = \beta (c^* - c). \quad (14)$$

Спільно з законом молекулярної дифузії:

$$W_r \frac{dc}{d\varphi} = D \left( \frac{d^2c}{dz^2} \right). \quad (15)$$

Наведені рівняння (14)–(15) можна розв’язати методом кінцевих різниць за допомогою пакету програми MathCad 14.

Для розв’язання математичної моделі необхідні значення величин, які характеризують фізичні умови однозначності, а також граничні умови, а саме граничну концентрацію розчиненої речовини в розчині  $c_{pp}$ , її густину  $\rho$  та в’язкість  $\nu$ , які в літературі відсутні. Враховуючи вплив цих властивостей на протікання вищезазначених процесів необхідно дослідити дані залежності.

З цією метою проведені експериментальні дослідження залежностей густини і в’язкості від концентрації розчину та температури за методикою, наведеною в літературі [6], а також визначена рівноважна концентрація мальтодекстрину в розчині.

**5. Дослідження властивостей розчинів мальтодекстрину**

Дослідження проводились для розчинів мальтодекстрину різних концентрацій (від  $c_p=0,05$  до  $c_p=0,4$  кг/кг розчину) при температурах 20, 30 та 40 °С. Для дослідження в’язкості розчинів використовуються лабораторні пристрої – віскозиметри, а саме лабораторний капілярний віскозиметр з діаметром капіляра – 0,86 мм.

**6. Аналіз результатів експериментів**

В результаті дослідів було отримано кінематичну в’язкість розчинів мальтодекстрину, яка коливається в межах від  $\nu=2,2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (при  $t=40$  °С,  $c_p=0,05$  кг/кг розчину) до  $\nu=7,8 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с (при  $t=20$  °С,  $c_p=0,4$  кг/кг розчину).

Отримані дані зображені на рис. 4.

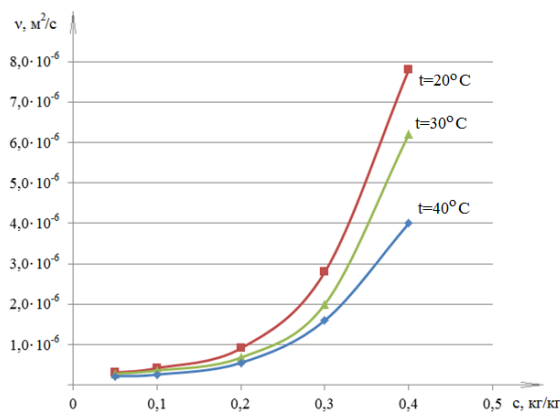


Рис. 4. Кінематична в’язкість розчинів мальтодекстрину

Результати визначення густини і динамічної в’язкості розчинів різних концентрацій наведені в табл. 1.

Таблиця 1  
Властивості досліджуваних розчинів при  $t=20$  °С

Концентрація розчину $c_{розч}$ , кг/кг розчину	Густина розчину $\rho_{розч}$ , кг/м <sup>3</sup>	Динамічна в’язкість $\mu_{розч}$ , Па·с
0,05	1010	0,0031
0,1	1031	0,0043
0,2	1053	0,0096
0,3	1136	0,0318
0,4	1220	0,0952

Оскільки динамічна в’язкість даних розчинів незначно змінюється з підвищенням температури на 10 °С, не будемо наводити її для інших температур.

Також визначена рівноважна концентрація розчину мальтодекстрину при  $t=20$  °С. Вона дорівнює  $c=0,48$  кг/кг.

**5. Апробація результатів дослідження**

Для знаходження розв’язку математичної моделі, тобто градієнту концентрацій, необхідно задатися наступними початковими даними:

- температура  $t=20$  °С,
- товщина пристінного шару  $\delta_p = 2,5 \cdot 10^{-4}$ ,
- рівноважна концентрація  $c^*=0,48$  кг/кг,
- концентрація розчину  $c = 0,05$  кг/кг,
- коефіцієнт масовіддачі  $\beta = 2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с,
- частота обертання диску  $\omega = 1/6$  с<sup>-1</sup>,
- густина розчиненої речовини  $\rho_{pp} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>,
- густина розчину  $\rho_p = 1010$  кг/м<sup>3</sup>,
- кінематична в’язкість розчину  $\nu_p = 3,1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,
- кут занурення диску в рідину  $\varphi_H = 0^\circ$ ,
- кут виходу диску з рідини  $\varphi_K = 180^\circ$ ,
- радіус диску  $R = 0,05$  м.

Враховуючи початкові та граничні умови, за допомогою пакету MathCad 14 методом кінцевих різниць отримано розв’язок даного рівняння.

Результатом розв’язку рівняння є градієнт концентрацій по поверхні диску в залежності від координати  $\rho$  і координати  $\varphi$ . Використовуючи закон перетворення координат від циліндричних до декартових побудовано поверхню розподілу концентрацій по диску (рис. 5, а, б).

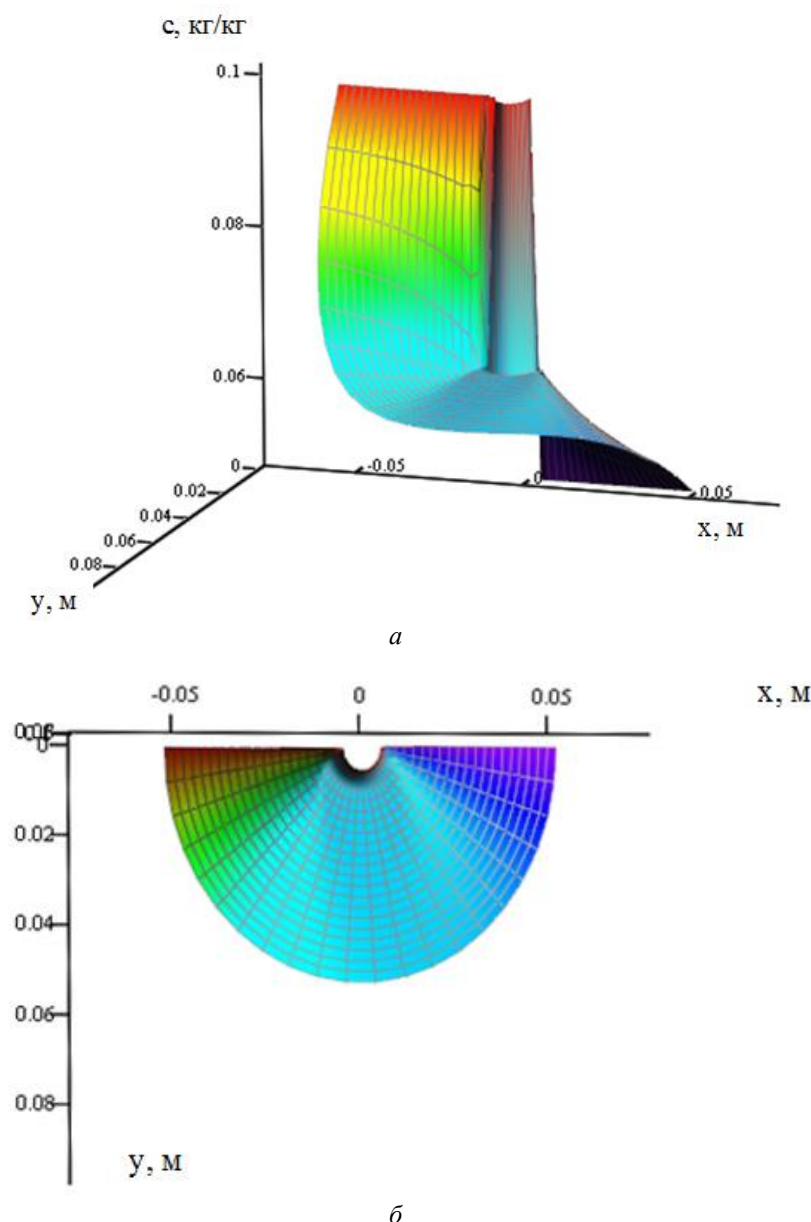


Рис. 5. Схема розподілення градієнту концентрацій по поверхні диску: *a* – 3D-поверхня градієнту концентрацій; *б* – поверхня в проекції на площину  $x$ - $y$

## 6. Висновки

Отримані експериментальні дані залежностей густини та в'язкості розчинів мальтодекстрину від температури, необхідні для розрахунку апаратів для концентрування розчинів при проектуванні нового та модернізації існуючого промислового устаткування.

Побудована та розв'язана математична модель розчинення полісахаридів в роторно-дисковому плівковому випарному апараті. В результаті розрахунків була отримана схема, що відображає градієнт концентрацій в пристінному до диску шарі ( $\delta_{роз}$  на рисунку 3) при розчиненні зневодненої плівки матеріалу, яка при попередньому циклі була висушена за допомогою гарячого повітря. Отже, концентрація в пристінному шарі розчину збільшується зі збільшенням кута  $\varphi$ , тобто по мірі розчинення шару  $\delta_{пр}$ .

Проведені дослідження та розрахунки дають можливість визначити розміри апарату та робочих

дисків. Продуктивність апарату можна збільшувати шляхом збільшення розмірів або кількості дисків. Попередні розрахунки [3] показують, що зі збільшенням діаметру дисків зростає товщина плівки рідини на виході з розчину, що негативно впливає на тривалість розчинення. Отже збільшення кількості дисків доцільніше для інтенсифікації процесу концентрування.

## Література

1. Установка для концентрування термолабільних рідин [Текст] тези доп. наук.-практ. конф. / відп. ред. Н. М. Ілляшенко. – Київ: ВПК «Політехніка», 2014. – 137 с.

2. Пристрій для зневоднення розчинів термолабільних речовин. Патент України № U201403472. МПК В01D 1/22 [Текст] / Ружинська Л. І., Костик С. І., Ілляшенко Н. М., Фесенко С. В. – заявл. 04.04.2014., опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17. – 5 с.

3. Ободович, А. Н. Математическая модель определения толщины пограничного слоя нарастающего на поверхности вращающегося диска частично погруженного в жидкость и обдуваемого газовым теплоносителем [Текст] / А. Н. Ободович, Л. И. Ружинская, С. И. Костик // Пром. Теплотехника. Термодинамика и процессы переноса. – 2014. – Т. 36. № 2. – С. 86–92.

4. Математическая модель распределения температур по поверхности диска частично погруженного в жидкость и обдуваемого газовым теплоносителем [Текст]: тези доп. наук.-практ. конф. / відп. ред. С. І. Костик. – Sheffield: Science and education LTD, 2014. – 57 с.

5. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии [Текст] / под ред. В. М. Олевского. – М.: Химия, 1988. – 240 с.

6. Фізична хімія: Термодинаміка. Фазові рівноваги та розчини. Метод. вказівки до лабораторних робіт для студентів

напряму підготовки 6.051301 «Хімічна технологія» всіх форм навчання [Текст] / Уклад.: Г. А. Рудницька, Т. А. Каменська, Т. В. Кірсенко. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 64 с.

## References

1. Ilyashenko, N. M., Ruzhinska, L. I., Kostyk, S. I. (2014) Arrangement for thermolabile liquid concentration 2014 Annual intern. conf., 137.

2. Ilyashenko, N. M., Ruzhinska, L. I., Kostyk, S. I. (2014). Apparatus for thermolabile liquid solution dehydration. Patent of Ukraine for useful model. B01D 1/22 № U201403472; declared 04.04.2014; published 10.09.2014, № 17.

3. Obodovych, A. N., Ruzhinska, L. I., Kostyk, S. I. (2014). Matematicheskaja model opredelenija tolschiny pogranichnogo sloja narastajuschego na poverhnosti vraschajuschegosja diska chastichno pogruzhennogo v jidkost y obduvaemogo gazovym teplonositelem. Promyshlennaya teplotehnika, 2, 86–92.

4. Ilyashenko, N. M., Ruzhinska, L. I., Kostyk, S. I. (2014). Matematicheskaja model raspredelenija temperatur po



poverhnosti diska chastichno pogrzhennogo v jidkost y obduvaemogo gazovym teplonositelem. 2014 Annual International Conference «Trends of modern science – 2014», 57–59.

5. Olevsky, V. M. (Ed.) (1988) Plenochnaya teplo- I massoobmennaya aparatura. Processy I apparaty himicheskoy I neftehimicheskoy tehnologii [Heat and mass transfer typical arrangement. Processes and apparatus of chemical and petrochemical technologies]. Moscow: Chemistry, 240.

6. Rudnytska, G. A., Kamensky, T. A., Kirsenko, T. V. (2009). Fizichna himija: Termodinamika. Fazovi rivnovagy ta rozchiny. Method. vkazivki do laboratornih robit dlya studentiv naprjamu pidgotovky 6.051301 "Himichna tehnoloigija" [Physical Chemistry: Thermodynamics. Phase equilibria and solutions. Methodical instructions for laboratory work for students training direction 6.051301 "Chemical Engineering" for all forms of education]. Kyiv: NTU "KPI", 64.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Мельник В. М.  
Дата надходження рукопису 27.03.2015*

**Ружинська Людмила Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: ruzhli@ukr.net

**Булах Наталія Миколаївна**, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: stelladinatale@mail.ru

УДК 622.691.4

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.41387

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ГАЗОСХОВИЩ

© В. О. Заєць, Д. Ф. Тимків, М. В. Крихівський

*У даній роботі вирішується проблема оптимізації технологічних параметрів циклічної експлуатації підземних сховищ газу в газовому режимі. Для цього визначена цільова функція, що виражає необхідну потужність компресорної станції для нагнітання газу в сховище. Мінімізація її дозволить знайти необхідні технологічні параметри, наприклад, витрату та пластовий тиск, що змінюються в часі. Обмеження та цільова функція приведені до лінійного вигляду. Розв'язування задачі виконано симплекс-методом*

**Ключові слова:** підземне сховище газу, оптимізація, симплекс-метод, математична модель, компресорна станція

*The problem of optimization of process parameters of cyclic operation of underground gas storages in gas mode is determined in the article. The target function is defined, expressing necessary capacity of compressor station for gas injection in the storage. Its minimization will find the necessary technological parameters, such as flow and reservoir pressure change over time. Limitations and target function are reduced to a linear form. Solution of problems is made by the simplex method*

**Keywords:** underground gas storage, optimization, simplex method, mathematical model, compressor station

### 1. Вступ

Підземні сховища газу (ПСГ) використовують для регулювання сезонної нерівномірності його споживання, забезпечення транзиту, вирішення стратегічних завдань у разі екстремальних ситуацій та інших валивих цілей. Збільшення числа діючих ПСГ та зростання їх ролі в газопостачанні споживачів вимагає оперативного регулювання й оптимізації параметрів експлуатації штучних газових покладів. ПСГ являє собою складний комплекс функціонально пов'язаних систем наземного та підземного обладнання, що працює в циклічному режимі при збереженні необхідного обсягу буферного об'єму. Актуальною є задача математичного моделювання оптимізації, яка дозволяє оптимізувати такі показники: обсяг газу, що відбирається за сезон; необхідне число експлуатаційних скважин; загальна витрата газу або тиск. Зважаючи

на складність фізико-хімічних процесів, що відбуваються в пласті-колекторі, є значна неоднозначність інтерпретації даних газодинамічних досліджень, одержуваних в умовах значної невизначеності.

Для цих цілей може бути використана математична модель оптимізації, яка дозволяє оптимізувати такі показники: обсяг газу, що відбирається за сезон; необхідне число експлуатаційних скважин; загальна витрата газу або тиск. При цьому економічними критеріями ефективності обрані мінімальний буферний об'єм газу, вартість зберігання газу, експлуатаційні витрати.

Аналіз процесів, що відбуваються при експлуатації пласта-колектора та свердловинного обладнання в умовах неповноти геолого-промислової інформації, показує необхідність розробки моделей, що по можливості враховують комплекс осно-