

конання, форми обслуговування, ціни, тарифи, гарантійні умови тощо) зі свідчень про безпеку і якість послуги, що вимагає Закон України Про захист прав споживача.

Напрямами поліпшення діяльності сфери послуг, згідно з прийнятими останнім часом Законами України [5], є:

- формування конкурентного середовища і створення необхідної інфраструктури для сфери послуг;

- забезпечення державної підтримки і розвиток конкурентоспроможності об'єктів сфери послуг на основі інтеграції різноманітних видів діяльності (туристичних, готельних, транспортних, наукових, фінансових тощо);

- зменшення податкового тиску;

- модернізація існуючої матеріально-технічної бази підприємств;

- поліпшення контролю за якістю обслуговування туристів з метою підвищення ступеня привабливості нашої держави для зарубіжних гостей;

- удосконалення статистичної обробки даних господарської діяльності готелів зі створенням єдиної державної статистично-інформаційної бази даних підприємств готельного господарства і туризму;

- ефективне здійснення рекламно-інформаційної діяльності стосовно туризму в Україні.

Отже, можна зробити такі висновки, що сучасні процеси розвитку світової економіки, які сприяють активізації міжнародної торгівлі, вимагають всебічно-

го розвитку основних елементів ринку послуг. Так велике значення має сьогодні міжнародний транспорт, який виконує інфраструктурну роль у світовій економіці в цілому та в народному господарстві окремих країн, слугує матеріально-економічною базою міжнародних економічних зв'язків. У свою чергу, збільшення обсягів перевезення вантажів вимагає розвитку ринку страхових послуг, оскільки компанії бажать захистити себе від ризиків та непередбачених обставин. Крім того, динамічні процеси розвитку суспільства виводять на перший план потребу в інформації, володіння якою дозволяє вчасно реагувати на зміни, які відбуваються в сучасному світі. В числі найбільш розвинених є також сфера туристичних послуг, яка обіцяє в найближчі роки стати однією з найважливіших галузей економіки. Отже сучасний етап розвитку світової економіки вимагає всебічного дослідження і аналізу такого важливого її елементу як ринок послуг.

Перспективою подальших досліджень є розгляд проблеми включення України в міжнародний ринок послуг. Наша країна має всі передумови для розвитку, модифікації та розширення національного ринку послуг та участі в міжнародній торгівлі ними. Це буде значно сприяти розвитку економіки регіонів та стане суттєвим чинником зростання добробуту населення нашої країни.

Поступила 09.2010

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шаповал М.І. Менеджмент якості: Підручник. – К.: Т-во „Знання”, 2003. – 475 с.
2. Котлер Ф. Основы маркетинга. – М.: СПб.; К., 1999. – 200 с.
3. Румянцев А.П., Коваленко Ю.О. Міжнародна торгівля послугами: Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 112 с.
4. Мережко Н.В. Сертифікація товарів та послуг: Підручник – К.: Київ. нац. торг.- екон. ун-т, 2002. – 298 с.
5. Споживче право України: Юридичний збірник. – К.: 2004. – 465 с.

УДК 621.575

**ИЩЕНКО И.Н., аспирант, ТИТЛОВ А.С., д-р. техн. наук, доцент**

Одесская национальная академия пищевых технологий

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА В ПРОТИВОТОЧНОМ ЗМЕЕВИКОВОМ АБСОРБЕРЕ**

Разработана методика поверочного расчета змеевикового противоточного абсорбера в основе которой лежит математическая модель процессов тепло- и массообмена. Определены теплофизические свойства водоаммиачного раствора (ВАР) и парогазовой водоаммиачной смеси (ПГС) и геометрические параметры абсорбера. Также определены коэффициенты массоотдачи в жидкой фазе ВАР и газовой среде и коэффициент массопереноса.

**Ключевые слова:** процессы тепло- и массообмена, змеевиковый противоточный абсорбер, теплофизические свойства, геометрические параметры, коэффициент массопереноса.

The method for calculating the span coiled counter-absorber which is based on a mathematical model of heat and mass transfer. Determined the thermophysical properties of water-ammonia solution (WAS) and water-ammonia vapor-gas mixture (VGM) and geometric parameters of the absorber. Also, the coefficients of mass transfer in the liquid phase VARs and gas environment and mass transfer coefficient.

**Keywords:** processes teplo- and mass-transfer, worm-pipe antiexact absorber, thermophysical properties, geometrical parameters, coefficient of massoperehosa.

Абсорбер в схеме абсорбционного холодильного агрегата (АХА) выполняет функцию очистки инертного газа – водорода от пара аммиака и входит в состав контура естественной циркуляции (КЕЦ). Современные АХА имеют змеевиковые противоточные абсорберы, в верхнюю часть которых подается слабый водоаммиачный раствор (ВАР), а в нижнюю часть – водородоамми-

ачная парогазовая смесь (ПГС) из испарителя [1]. При взаимодействии потоков ВАР и ПГС происходит очистка ПГС с одновременным насыщением ВАР аммиаком. Насыщенный аммиаком (крепкий) ВАР стекает в ресивер, а очищенная ПГС поднимается в испаритель. Циркуляция ПГС в КЕЦ осуществляется за счет разности плотностей, которая образуется за счет разности концентраций.

Процесс абсорбции пара аммиака из ПГС потоком ВАР идет с выделением теплоты фазового перехода и теплоты смешения [2]. Это тепло в процессе абсорбции необходимо отводить, так как с ростом температуры равновесие в ВАР смещается в сторону меньших концентраций.

Большой практический опыт, накопленный за многие годы разработчиками бытовых АХА, позволил прийти к достаточно эффективным конструкциям абсорберов. В тоже время остался открытым вопрос учета изменений условий эксплуатации, который невозможно решить без поверочной методики расчета.

Известны многочисленные исследования [3-7], которые были посвящены экспериментальному изучению процессов тепло- и массообмена в абсорбере

АХА. Эти результаты могут быть использованы при разработке математической модели абсорбера АХА.

В основе поверочного расчета лежит система уравнений процессов тепло- и массообмена (схема потоков приведена на рис.1).

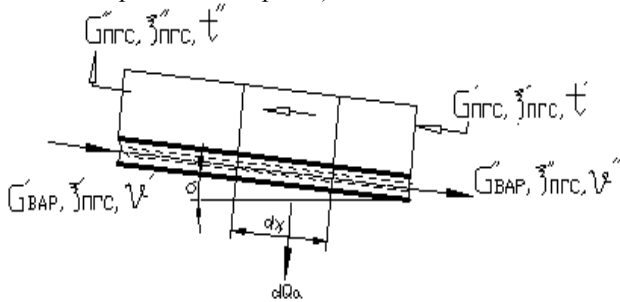


Рис.1. Схема потоков в противоточном абсорбере АХА

Система уравнений, описывающих процессы тепло- и массообмена на элементарном участке  $dx$  имеет вид:

а) уравнение баланса массы в процессе абсорбции

$$-G_0 \cdot dY = k_A \cdot (y - y^*) \cdot dF; \quad (1)$$

б) уравнение баланса тепла

$$G_0 \cdot c \cdot dt = \alpha \cdot (\vartheta - t) \cdot d\vartheta; \quad (2)$$

в) уравнение теплопередачи между потоком ВАР и окружающей средой

$$k \cdot (\vartheta - \Theta) \cdot dF = dQ_A. \quad (3)$$

В систему (1)-(3) включают уравнение перевода концентраций

$$y = \frac{y^*}{1 + y^*}, \quad (4)$$

и фазового равновесия

$$y^* = f(\xi_{\text{ААД}}, \vartheta). \quad (5)$$

Исходными данными для расчета абсорбционно-холодильного агрегата являются:

- а) массовый расход ВАР ( $G_{\text{ВАР}}$ );
- б) массовый расход ПГС ( $G_{\text{ПГС}}$ );
- в) полное давление в системе ( $P_0$ );
- г) скорость жидкости в абсорбере ( $W_{\text{ж}}$ );
- д) массовая концентрация аммиака в ВАР на входе абсорбера  $\xi'_{\text{ВАР}}$ .

Алгоритм расчета противоточного абсорбера приведен ниже.

На первом этапе определяются термодинамические параметры и теплофизические свойства ВАР:

а) давление жидкости в абсорбере:

$$P_{\text{ж}} = f(\xi'_{\text{ААД}}, t_{\text{н}\delta}); \quad (6)$$

б) вязкость жидкой фазы:

$$\nu_{\text{ж}} = f(P_{\text{ж}}, t_{\text{н}\delta}); \quad (7)$$

в) диффузионное число Прандтля для жидкой фазы:

$$\text{Pr}_{\text{ж}} = \frac{\nu_{\text{ж}}}{D_{\text{ж}}}; \quad (8)$$

г) удельный объем жидкости:

$$\nu'_{\text{ж}} = f(P_{\text{ж}}, t_{\text{н}\delta}); \quad (9)$$

д) плотность ВАР:

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{1}{\nu'_{\text{ж}}}; \quad (10)$$

е) коэффициенты динамической вязкости компонентов ПГС рассчитываются по формулам Андрусова [8]:

$$\eta_X = \frac{191,8 \cdot 10^{-7} \cdot (1 + \sqrt{2 \cdot \dot{I}_{\delta}})}{V_X^{2/3}} \cdot \omega_X \cdot \left(\frac{t_S}{273,2}\right)^{\tau_X}, \quad (11)$$

$$\eta_{H_2} = \frac{191,8 \cdot 10^{-7} \cdot (1 + \sqrt{2 \cdot \dot{I}_{H_2}})}{V_{H_2}^{2/3}} \cdot \omega_{H_2} \cdot \left(\frac{t_S}{273,2}\right)^{\tau_{H_2}}; \quad (12)$$

где  $V_X^{2/3}$ ,  $V_{H_2}^{2/3}$  – мольный объем компонентов в ПГС;

$\omega_X$ ,  $\omega_{H_2}$  – коэффициенты для компонентов смеси ПГС;

$\tau_X$ ,  $\tau_{H_2}$  – показатели степени для компонентов ПГС;

ж) показатели степени для компонентов ПГС:

$$\tau_X = A_X - B_X \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{н}\delta}, \quad (13)$$

$$\tau_{H_2} = A_{H_2} - B_{H_2} \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{н}\delta}. \quad (14)$$

Значения коэффициентов в формулах (11)-(14) приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Значения  $V_i$ ,  $\omega_i$ ,  $A_i$ ,  $B_i$  для расчета по формулам (11)-(14)

Компонент ПГС	$V^{2/3}$	$\omega$	A	B
H <sub>2</sub>	4,000	0,583	0,674	0,034
NH <sub>3</sub>	8,940	0,636	1,060	1,040

з) функции вязкости и молекулярных масс чистых компонентов:

$$\hat{\sigma}_{\delta, i_2} = \frac{(1 + (\frac{\eta_{\delta}}{\eta_{i_2}})^{0,5} \cdot (\frac{\dot{I}_{i_2}}{\dot{I}_{\delta}})^{0,25})^2}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 + \frac{\dot{I}_{\delta}}{\dot{I}_{i_2}})}}, \quad (15)$$

$$\hat{\sigma}_{i_2, \delta} = \frac{(1 + (\frac{\eta_{i_2}}{\eta_{\delta}})^{0,5} \cdot (\frac{\dot{I}_{\delta}}{\dot{I}_{i_2}})^{0,25})^2}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 + \frac{\dot{I}_{i_2}}{\dot{I}_{\delta}})}}. \quad (14)$$

Определяются геометрические параметры абсорбера:

а) площадь живого сечения жидкости:

$$F_{\text{ж}} = \frac{G_{\text{ААД}}}{W_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}}}; \quad (15)$$

б) эквивалентный диаметр струи жидкости:

$$d_{\text{ж\acute{e}a}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ж}}}{\pi}}. \quad (16)$$

Число Рейнольдса для жидкой фазы ВАР:

$$\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{W_{\text{ж}} \cdot d_{\text{ж\acute{e}a}}}{\nu_{\text{ж}}}. \quad (17)$$

Диффузионное число Нуссельта для жидкой фазы ВАР:

$$\text{Nu}'_{\text{ж}} = 0,005 \cdot \text{Re}_{\text{ж}} \cdot (\text{Pr}_{\text{ж}})^{0,5}. \quad (18)$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе ВАР:

$$\beta_{a.} = Nu'_{a.} \cdot \frac{D_{a.}}{d_{a.}}, \quad (19)$$

На втором этапе определяются термодинамические и теплофизические свойства ПГС:

а) давление:

$$D_{X\_S} = f(t_S); \quad (21)$$

б) парциальное давление перегретых паров аммиака:

$$P_X = P_{X\_S} - \Delta P_X; \quad (22)$$

в) давление газа-водорода:

$$P_{\bar{A}} = D_0 - D_{\bar{O}}; \quad (23)$$

г) объемная доля аммиака в ПГС:

$$\varphi_{\bar{O}} = \frac{D_{\bar{O}}}{D_0}; \quad (24)$$

д) объемная доля водорода в ПГС:

$$\varphi_{\bar{A}} = 1 - \varphi_X; \quad (25)$$

е) массовая доля аммиака в ПГС:

$$\xi_{\bar{A}} = 1 - \xi_{\bar{O}}. \quad (26)$$

Для расчета коэффициента динамической вязкости ПГС используется формула Уилка [8]:

$$\eta_{\bar{A}\bar{N}} = \frac{\eta_{\bar{O}}}{1 + \frac{\varphi_{\bar{A}}}{\varphi_{\bar{O}}} \cdot \dot{O}_{\bar{O},i_2}} + \frac{\eta_{i_2}}{1 + \frac{\varphi_{\bar{O}}}{\varphi_{\bar{A}}} \cdot \dot{O}_{i_2,\bar{O}}}. \quad (27)$$

Определяется удельный объем перегретого пара аммиака:

$$v_{\bar{O}} = f(P_X, t_S); \quad (28)$$

плотность перегретого пара аммиак:

$$\rho_{\bar{O}} = \frac{1}{v_X}, \quad (29)$$

плотность водорода:

$$\rho_{H_2} = \frac{10^5 \cdot Pr \cdot M_{H_2}}{8314 \cdot t_S}, \quad (30)$$

и плотность ПГС:

$$\rho_{\bar{A}\bar{N}} = \rho_{\bar{O}} + \rho_{i_2}. \quad (31)$$

Коэффициент кинематической вязкости ПГС:

$$v_{\bar{A}\bar{N}} = \frac{\eta_{\bar{A}\bar{N}}}{\rho_{\bar{A}\bar{N}}}. \quad (32)$$

Для расчета коэффициента диффузии бинарных систем используется эмпирическая корреляция, предложенная Фуллером, Шлеттером и Гиддингсом [9]:

$$D_{\bar{A}} = \frac{10^{-7} \cdot t_S^{1,75} \cdot \left(\frac{M_X + M_{H_2}}{M_X \cdot M_{H_2}}\right)^{\frac{1}{2}}}{P_0 \cdot \left(\left(\sum v\right)_X^{\frac{1}{3}} + \left(\sum v\right)_{H_2}^{\frac{1}{3}}\right)^2}, \quad (33)$$

где  $(\sum v)_X = 14,9$ ;  $(\sum v)_{H_2} = 7,07$  – атомные диффузионные объемы.

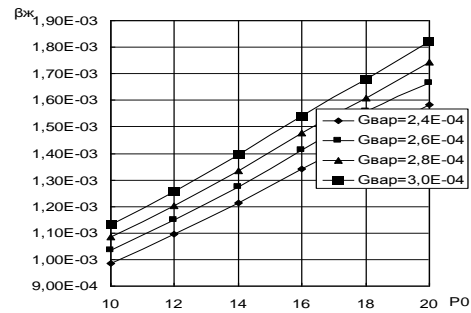
Диффузионное число Прандтля для парогазовой фазы

$$Pr'_{\bar{A}} = \frac{v_{\bar{A}\bar{N}}}{D_{\bar{A}}}. \quad (34)$$

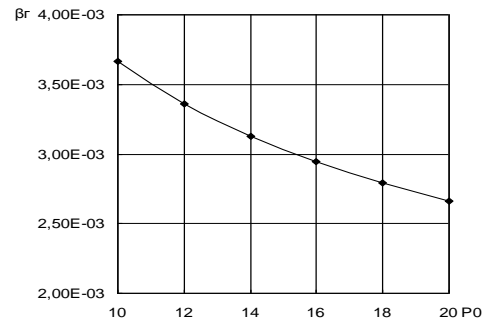
Площадь внутреннего сечения трубы абсорбера:

$$F_{\bar{n}\bar{a}\bar{z}} = \frac{\pi \cdot d_{a.}^2}{4}. \quad (35)$$

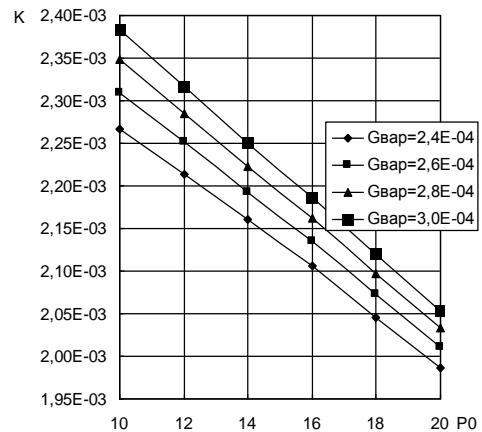
Скорость ПГС:



а



б



в

а - зависимость коэффициента массообмена в жидкой фазе; б - зависимость коэффициента массообмена в парогазовой фазе; в - зависимость коэффициента массопередачи при абсорбции аммиака из ПГС

Рис.2. Зависимости коэффициентов массопереноса (м/с) в процессе абсорбции от абсолютного давления (бар):

$$W_{\bar{A}} = \frac{G_{\bar{A}\bar{N}}}{\rho_{\bar{A}\bar{N}} \cdot F_{\bar{n}\bar{a}\bar{z}}}. \quad (36)$$

Число Рейнольдса для ПГС, вычисленное по относительно скорости ее движения [10]:

$$Re_{\bar{A}} = \frac{(W_{\bar{A}} + 1,5 \cdot W_{a.}) \cdot d_{a.}}{v_{\bar{A}\bar{N}}}. \quad (37)$$

Процессы массообмена абсорбера для парогазовой фазы описывается уравнением вида [10]:

$$Nu'_{\bar{A}} = A \cdot Re_{\bar{A}}^m \cdot (Pr'_{\bar{A}})^n \cdot \left(\frac{d_{a.}}{l}\right)^k, \quad (38)$$

где A, m, n, k – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в таблице 2 [3-7,11,12].

Таблиця 2  
Значення емпіричних коефіцієнтів в різних режимах  
процеса абсорбції

A	m	n	k	Діапазон	Тип абсорбера	Источник
0,0039	1	0,5	0	60≤Re <sub>ж</sub> ≤300	гладкотрубний	[11]
0,0057	1	0,5	0	60≤Re <sub>ж</sub> ≤300	с накаткой	[3-7]
0,29	0,576	0,5	0,2	200≤Re <sub>г</sub> ≤2000	гладкотрубний	[10]
0,0156	0,910	0,5	0,2	Re <sub>г</sub> >1800	гладкотрубний	[12]
0,6	0,576	0,5	0,2	200≤Re <sub>г</sub> ≤2000	с накаткой	[3-7]

Коефіцієнт масоотдачі в газовій середі:

$$\beta_{\bar{A}} = Nu'_{\bar{A}} \cdot \frac{D_{\bar{A}}}{d_{ai}} \quad (39)$$

Парціальне тиск амміака над поверхню струйки ВАР:

$$P_{NH_3} = f(t_{\bar{n}0}, \xi'_{\bar{A}\bar{A}D}) \quad (40)$$

Константа фазового рівноважя при абсорбції:

$$m = \frac{P_{NH_3}}{\xi'_{\bar{A}\bar{A}D} \cdot D_0} \quad (41)$$

Коефіцієнт масопереносу при абсорбції:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\bar{A}}} + \frac{m}{\beta_{\alpha}}} \quad (42)$$

На рис. 2 приведені результати розрахунків типового абсорбера АХА виробництва Васильківського заводу холодильників, виконані по приведеній вище методикі.

Аналіз результатів, приведених на рис. 2, показує, що при збільшенні тиску в системі збільшується інтенсивність масообміну в рідкій фазі і зменшує в парової. В сумі відбувається зниження масопередачі в абсорбері – в приведеному випадку до 12-14 %.

Висновки.

1. Розроблена методика поверочного розрахунку змеевикового протиточного абсорбера в основі котрої лежить математична модель процесів тепло- і масообміну.

2. При збільшенні тиску в системі має місце зниження інтенсивності процесу масопереносу в абсорбері АХА.

Поступила 09.2010

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабакин Б. С. Бытовые холодильники и морозильники / Б. С. Бабакин, В. А. Выгодин. – Рязань : Узоречье, 2005. – 860 с.
2. Бадилькес И.С. Абсорбционные холодильные машины. / И. С. Бадилькес, Р. Л. Данилов. – М. : Пищевая промышленность, 1996. – 356 с.
3. Березин А.Н. Интенсификация работы абсорбера абсорбционно-диффузионной холодильной машины: дис...канд. техн. наук : 05.04.03 / Березин Александр Николаевич. – Л., 1980. – 103 с.
4. Осипов Ю. В. Тепло- и массообмен при абсорбции аммиака водоаммиачным раствором из водоаммиачной смеси / Ю. В. Осипов, Н. П. Третьяков, Н. Н. Некрасов // Холодильная техника. – 1980. – № 10. – С. 38–40.
5. Осипов Ю. В. Тепло- массообмен при абсорбции аммиака водоаммиачным раствором из водородоаммиачной смеси: дис...канд.техн.наук : 05.04.03 / Осипов Юрий Владимирович. – Л., 1971. – 175 с.
6. Осипов Ю. В. Массообмен при абсорбции аммиака водоаммиачным раствором / Ю. В. Осипов, Н. П. Третьяков // Холодильная техника. – 1971. – № 2. – С. 40–42.
7. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей. Инженерные методы расчета / С. Бретшнайдер. – М.-Л. : Химия, 1966. – 536 с.
8. Рид Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. – Л. : Химия, 1982. – 592 с.
9. Рамм В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М. : Химия, 1966. – 564 с.
10. Долотов А. Г. Интенсификация процесса абсорбции в абсорбционно-диффузионной холодильной машине / А. Г. Долотов, А. Н. Березин // Холодильная техника. – 1980. – № 10. – С. 38–40.
11. Долотов А. Г. Исследование процесса абсорбции в абсорбционно-диффузионной холодильной машине / А. Г. Долотов, А. Н. Березин // Холодильная техника. – 1980. – № 7. – С. 20–24.

УДК 631.365:535-15

**ЗАВАЛИЙ А.А., канд.техн.наук, доцент, ЯНОВИЧ И.В., ассистент,**  
Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования  
Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь.

**ЛАГО Л.А., инженер-технолог I категории**  
ГП «ПКТИ «Плодмашпроект», г. Симферополь.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ СУШКЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ИНФРАКРАСНЫМ И КОНВЕКТИВНЫМ СПОСОБАМИ В УСТРОЙСТВАХ КАМЕРНОГО ТИПА

Расчетно-аналитически обоснованы оптимальные режимные параметры процесса инфракрасной сушки в устройстве камерного типа. Выполнено экспериментальное сравнение энергетических затрат на процесс сушки яблок, моркови и физической модели продукта сушки инфракрасным и конвективным способами в устройствах камерного типа.

**Ключевые слова:** расчетная модель процесса сушки, физическая модель продукта сушки, инфракрасная сушка, конвективная сушка.

The optimum regime parameters of process of the infra-red drying are calculation-analytically grounded in the device of chamber type. Experimental comparison of power expenses is executed on the process of drying of apples, to the carrot and physical model of product of drying by infra-red and convective methods in the devices of chamber type.

**Keywords:** calculation model of process of drying, physical model of product of drying, infra-red drying, convective drying.

В последнее время существенно вырос интерес к инфракрасному способу сушки продуктов сельскохо-

зяйственного производства как альтернативе традиционному конвективному способу сушки. Одним из ожидаемых преимуществ инфракрасной сушки является ее высокая экономичность, так как снижение энергозатрат на производство является одним из основных источников повышения рентабельности и конкурентоспособности продукции. Источником экономичности инфракрасной сушки служит лучистый способ подвода энергии для осуществления процесса сушки, не требующий наличия промежуточного носителя энергии – агента сушки.

Цель настоящей работы – сравнение энергетических затрат на процесс сушки инфракрасным и конвективным способами в идентичных условиях проведения эксперимента.