

INTENSIFIZIERUNG VON VERFLÜSSIGERN DER SUBLIMATIONSANLAGEN

E.I.GUIGO, L.S.MALKOW, G.N.DANILOVA, G.I.MALJUGIN

Leningrader technologisches Institut für Kältetechnik, UdSS

Die Wirtschaftlichkeit der Sublimationstrocknung hängt von dem Auspumpenverfahren des Dampfgemisches ab, besonders von der Wirksamkeit der Dampfverflüssigung auf den Kühlflächen.

Die maximale Annäherung von Elementen des Verflüssigers und des Trockengutes sichert die Verringerung des Trockenzyklus, darum ist es zweckmäßig, diese Elemente unmittelbar im Verflüssiger anzuordnen. In diesem Falle ist eine schnelle Regenerierung notwendig, die durch den Elementenaufbau des Verflüssigers garantiert ist, sowie eine hohe spezifische volumetrische Wiskapazität des Verflüssigers, gewährleistet durch die reihenweise Einschaltung seiner Sektionen, und die Intensifizierung des Kältemittelsiedens.

Bei dem Kältemittelsieden, und zwar des Ammoniaks, in engen Kanälen, deren Breite dem Abreißdurchmesser der Dampfblasen entspricht, und unter Aufrechterhaltung eines optimalen Flüssigkeitstandes in der ganzen Kanalhöhe wird das Aufschäumregime des Zweiphasenstromes gesichert und die Wärmeübergangszahlen steigen auf das 2 - 2,5 -fache.

Es wurde die Wirkung der Wärmestromdichte, des Sättigungsdruckes, der Umlaufgeschwindigkeit und der geometrischen Kanaldimensionen auf den inneren Wärmeübergang festgestellt und die Rechengleichungen gefunden.

IMPROVING EFFICIENCY OF CONDENSERS IN FREEZE DRIERS

E.I.GUIGO, L.S.MALKOV, I.N.DANILOVA, I.J.MALUGHIN

Technological Institute of Refrigerating Industry, Leningrad, USSR

Freeze drying efficiency is known to depend upon the technique of air-vapour mixture removal and, especially, upon vapour condensation rate on surfaces being cooled.

Maximum proximity of the condensing elements and the product dried has been stated to cut the freeze drying time. Therefore, it is practicable to place these elements within the freeze drier.

In this case the necessary conditions are quick frost removal off the condensing elements which is to be provided by their design and the high specific volumetric ice holding capacity of the condenser which is effected by gradually switching in its sections, as well as well as by intensifying refrigerant boiling.

Throughout the height of the condensing elements foamed pattern of two-phase flow is promoted by boiling refrigerants, ammonia in particular, in narrow channels the width of which is commensurable with the detached diameter of vapour bubbles and by maintaining the optimum liquid level, the heat transfer coefficients increasing 2÷2.5 times.

The effects of heat flow rate, saturation pressure, circulation rate, channel geometry and sizes were studied and the calculation equations were derived.

CONDENSEURS INTENSES DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE LYOPHILISATION

E.I.GOIGO, L.S.MAIKOV, G.N.DANILOVA, G.I.MALUGUINE

Institut technologique du froid, Leningrad, U.R.S.S.

Le rendement économique de la lyophilisation dépend considérablement du mode de l'évacuation du mélange air-vapeur et surtout de l'efficacité de la condensation de la vapeur sur les surfaces refroidies. La présence inévitable de l'air dans l'installation industrielle et de petites différences de pression déterminent la nécessité des constructions spéciales des condenseurs de dépôt sous vide.

On a établi que le rapprochement maximum des éléments du condenseur au produit à lyophiliser garantit la réduction considérable de la durée du cycle de lyophilisation. C'est pourquoi il est rationnel de placer les éléments directement dans le lyophilisateur, par exemple dans les segments latéraux libres au corps cylindrique. Dans ce cas on a besoin d'une régénération rapide qui est assurée par la construction spéciale des éléments du condenseur, proposée par nous. En outre dans ces conditions on a besoin d'une grande capacité spécifique volumétrique de glace du condenseur qu'on assure en branchant ses sections en série à partir de la plus éloignée du produit à lyophiliser, de même que par l'intensification de l'ébullition de l'agent frigorifique. Au cours de nos recherches nous avons établi qu'avec l'organisation de l'ébullition des agents frigorifiques (de l'ammoniac en particulier) dans les canaux très étroits, dont la largeur est commensurable au diamètre de détachement des bulles de vapeur et tout en maintenant le niveau statique optimal du liquide à toute la hauteur du canal est assuré le régime moussé de l'écoulement biphasé avec lequel les coefficients de transmission de chaleur augmentent en $2 \div 2,5$ fois dans les conditions de l'installation frigorifique.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДЕСУБЛИМАТОРОВ СУБЛИМАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Э.И.Гуйго, Л.С.Малков, Г.Н.Данилова, Г.И.Мальгин

Ленинградский технологический институт холодильной промышленности
г.Ленинград СССР

Экономичность сублимационного высушивания зависит от способа откачки паровоздушной смеси, особенно от эффективности конденсации пара на охлаждаемых поверхностях.

Максимальная близость элементов десублиматора и сушеного продукта обеспечивает сокращение цикла сушки, поэтому целесообразно располагать элементы непосредственно в сублиматоре. В этом случае необходима быстрая регенерация, которая обеспечена конструкцией элементов десублиматора, и его высокая удельная объемная льдоемкость, осуществляемая порядным включением секций, а также интенсификацией кипения хладагента.

При кипении хладагентов, в частности аммиака, в каналах малой ширины, соизмеримой с отрывным диаметром паровых пузырей, и поддержании оптимального уровня жидкости по всей высоте канала обеспечивается вспененный режим двухфазного потока, при котором коэффициенты теплоотдачи увеличиваются в $2 \div 2,5$ раза. Определена степень влияния на внутреннюю теплоотдачу плотности теплового потока, давления насыщения, скорости циркуляции, геометрических размеров канала и получены расчетные уравнения.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДЕСУБЛИМАТОРОВ СУБЛИМАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Э.И.Гуйго, Л.С.Малков, Г.Н.Данилова, Г.И.Малюгин

Ленинградский технологический институт холодильной промышленности
г. Ленинград СССР

Экономичность сублимационного высушивания пищевых продуктов в значительной мере определяется работой устройств для откачки паровоздушной смеси и, особенно, эффективностью десублимации водяного пара. Повышение эффективности десублиматоров может быть обеспечено выполнением следующих требований:

- максимальное приближение охлаждаемых элементов к сушимоу продукту;
- повышение удельной льдоемкости десублиматора;
- ускорение регенерации десублиматора в перерывах между циклами сушки или в ходе нее.

Эти требования наилучшим образом реализуются при использовании встроенных десублиматоров специальной конструкции.

Разработана и эксплуатируется промышленная сублимационная установка с единовременной загрузкой I тонны продукта [1], в которой охлаждаемые элементы десублиматора располагаются в свободных боковых сегментах цилиндрического корпуса сублиматора с двух сторон вдоль всей длины продуктовых тележек и в непосредственной близости к ним. Десублиматор сконструирован из пяти продольных трубчатых секций, включаемых в цикле сушки поочередно, начиная с самых удаленных от продукта. За счет этого происходит периодическое обновление охлаждаемых поверхностей на пути движения парогазовой смеси, что обеспечивает поддержание заданной величины давления в сублиматоре. Такой способ включения секций делает возможным конструировать их с малыми расстояниями между вертикальными трубами, что обеспечивает высокую (57 кг/м³) удельную льдоемкость десублиматора при умеренно низких (-30°C) температурах кипения хладагента. Десублиматор такой конструкции обеспечивает на промышленной установке высушивание мясного фарша в слое до 25 мм за 6±8 часов. Каждая из секций является обычной короткошланговой испарительной батареей, однако нижний коллектор ее приварен к тыльной (по ходу движения пара) стороне вертикальных труб. Эта конструкция (рис.1) позволяет быстро регенерировать десублиматор путем сброса льда при подаче в секции теплого хладагента, без полного расплавления замороженного на трубах льда. Для увеличения удельной льдоемкости десублиматора и уменьшения расхода холода разработан метод интенсификации теплообмена со стороны хладагента путем организации кипения в узком вертикальном щелевом канале.

Метод основан на создании в испарительных каналах вспененного режима течения парожидкостной смеси, обеспечивающего при заданных давлении P_0 (температуре t_0) кипения хладагента и плотности теплового потока q значительное увеличение среднего коэффициента теплоотдачи α сравнительно с кипением в трубах [2,3,4].

Для изучения эффективности этого способа и определения геометрических характеристик каналов применительно к элементам десублиматоров проведено исследование на стенде при естественной и вынужденной циркуляции аммиака [5]. Объектом исследования была труба диаметром 45x2 мм и высотой H , равной 1500 мм, в которой устанавливались цилиндрические вставки различного диаметра для образования вертикальных кольцевых каналов с эквивалентным диаметром $d_{эк}$, равным 3±11 мм. Опыты проводились при $q = 1000 \div 14000$ Вт/м², $P_0 = 12 \cdot 10^4 \div 29 \cdot 10^4$ Па, ($t_0 = -30 \div -10^\circ\text{C}$). Статистический уровень заполнения канала жидким хладагентом $h_{нач}$ варьировался от оптимального h_{opt} до полного заполнения канала H . Оптимальный уровень соответствовал режиму без регенерации жидкого хладагента. Скорость жидкого хладагента ω_0 в начальном сечении канала изменяли насосом в пределах от 0 до 0,8 м/с.

Установлено, что в условиях, характерных для работы десублиматоров промышленных установок, в зависимости от соотношения $q, P_0(t_0), d_{эк}, \omega_0$ по высоте трубы могут быть три основных режима течения: однофазный (жидкость), пузырьковый и вспененный, пос-

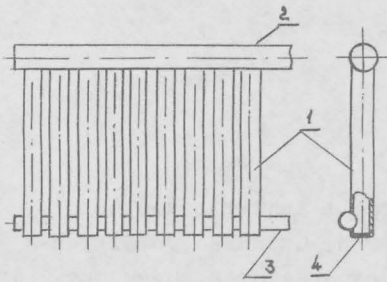


Рис.1. Секция десублиматора со смещенным нижним жидкостным коллектором

- 1 - вертикальные трубы
2 - паровой коллектор
3 - жидкостной коллектор
4 - доннышко

Fig. 1. Freeze-drying condenser section with the non-coaxial lower liquid collecting tube
1 - vertical tubes
2 - vapor manifold
3 - liquid collecting tube
4 - bottom lid

ледный характеризуется наибольшей интенсивностью теплообмена (рис.2). При $d_{эк} = 3$ мм (соизмерим с отрывным диаметром паровых пузырей) и поддержании оптимального уровня заполнения канала жидким хладагентом вспененный режим распространяется на всю высоту испарительного канала. При этом α в 2-3 раза выше, чем в известных десублиматорах. Полученные на стенде данные подтверждены в промышленных условиях.

Экспериментальные данные (при $h_{нзч} = H$) обобщены с использованием критериев подобия, введенных Мак-Нелли, в виде уравнения

$$Nu = 0,51 R_*^{0,55} \cdot P_2^{0,69} \cdot K_{P_*}^{0,31} \left[\frac{p'}{p''} - 1 \right]^{0,31}$$

где $Nu = \frac{\alpha_n \cdot d_{эк}}{\lambda}$; $Re_* = \frac{q \cdot d_{эк}}{z \cdot p' \cdot \nu}$; $P_2 = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}$; $K_{P_*} = \frac{\rho \cdot d_{эк}}{\sigma}$

При оптимальном уровне заполнения канала $\alpha_{опт} = \alpha_{max} = \alpha_n \cdot \epsilon_n$; ϵ_n находится в соответствии с графиками на рис.3.

Разработанный десублиматор имеет следующие технико-экономические преимущества перед десублиматорами выносного типа.

1. Ускорение процесса сушки за счет уменьшения сопротивления транспорту пара от сушимого продукта к охлаждаемым элементам и более равномерного высушивания продукта в объеме сублиматора.

2. Уменьшение вероятности подтайки продукта при загрузке его, либо при нарушении вакуумной плотности установки за счет интенсивного охлаждения среды в сублиматоре предвременно включенным десублиматором.

3. Повышение эксплуатационной надежности установки за счет исключения вакуумных затворов между корпусами сублиматора и десублиматоров и существенного уменьшения количества хладагента в системе.

4. Снижение капитальных и текущих затрат на сублимационную установку и производственные помещения за счет исключения надобности в специальных корпусах для десублиматоров, дорогостоящих вакуумных затворов, сокращения числа потребных вакуумных насосов и холодильных машин.

5. Сокращение затрат энергии на привод вакуумнасосов и компрессоров холодильных машин в связи с уменьшением количества единиц оборудования и повышением температуры кипения хладагента за счет интенсификации этого процесса в узких вертикальных каналах.

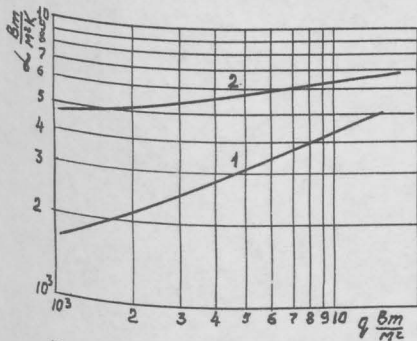


Рис. 2 Средние коэффициенты теплоотдачи в кольцевой щели $d_{\text{эк}} = 3 \text{ мм}$ для различных режимов движения потока при $P_0 = 12 \cdot 10^4 - 29 \cdot 10^4 \text{ Па}$. 1 - пузырьковый поток, 2 - вспененный поток.

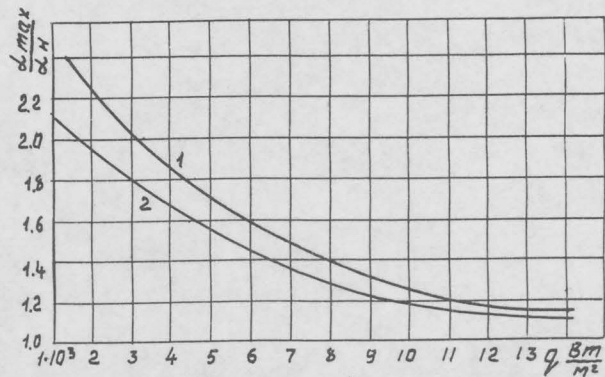


Рис. 3 Зависимость $\frac{\alpha_{\text{max}}}{\alpha_0}$ от плотности теплового потока при $P_0 = 12 \cdot 10^4 - 29 \cdot 10^4 \text{ Па}$. 1 - $d_{\text{эк}} = 3 \text{ мм}$, 2 - $d_{\text{эк}} = 41 \text{ мм}$.

Fig. 2. Mean heat transfer coefficient in annular slot $d_{\text{eq}} = 3 \text{ mm}$ for various flow patterns at $P_0 = 12 \cdot 10^4 - 29 \cdot 10^4 \text{ Pa}$. 1 - faible flow; 2 - foamed flow;

Fig. 3. $\frac{\alpha_{\text{max}}}{\alpha_0}$ vs. heat flow rate at $P_0 = 12 \cdot 10^4 - 29 \cdot 10^4$. 1 - $d_{\text{eq}} = 3 \text{ mm}$; 2 - $d_{\text{eq}} = 41 \text{ mm}$.

Литература

1. Гуйго Э.И., Малков Л.С., Каухчешвили Э.И., Камовников Б.П. Результаты эксплуатации отечественных промышленных сублимационных установок. Холодильная техника, № II, 1974, с. 9-12.
2. Азарсков В.М., Данилова Г.Н., Земсков Б.Б. Исследование теплообмена при кипении фреона-22 в плоских вертикальных щелевых каналах. Сб. "Холодильные машины и установки", МВ и ССО РСФСР Л., ЛТИХП, 1974, с. 121-124.
3. Чернобыльский И.И., Тананайко Ю.М., Теплообмен при кипении жидкостей в кольцевой щели. ЖТФ, т. XXVI, вып. 10, 1956, с. 25.
4. Ishibashi E., Nishikawa K., saturated boiling heat transfer in narrow spaces. "Int. J. Heat and mass Transfer", v. 12, 1969, n 8, p. 84.
5. Данилова Г.Н., Малюгин Г.И., Малков Л.С. Экспериментальное исследование теплообмена при кипении аммиака в вертикальных кольцевых каналах. Холодильная техника, № 9, 1975, с. 32-37.