

УДК 66-9

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ ТРЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ТЕПЛООБМЕННОЙ ТРУБКИ ВЫПАРНОГО АППАРАТА ПЛЕНОЧНОГО ТИПА

**В. Н. Гушшамова¹, А. П. Хомяков², С. В. Морданов³,
Т. В. Хомякова⁴, С. С. Пецура⁵**

^{1,2,3,4,5} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ 89126634949@yandex.ru

Аннотация. В работе приведены результаты исследования потерь давления за счет трения по длине теплообменной трубки в трубном пространстве пленочного выпарного аппарата. Приведено соотношение потерь давления за счет трения пленки раствора о поверхность трубки и за счет трения пара о поверхность пленки раствора. Установлено, что лимитирующим параметром потерь давления в теплообменной трубке за счет трения является трение вторичного пара о поверхность пленки раствора.

Ключевые слова: выпарной аппарат пленочного типа, гидравлическое сопротивление, потери давления за счет трения

INVESTIGATION OF PRESSURE LOSSES DUE TO FRICTION ALONG THE HEAT EXCHANGE LENGTH OF FALLING-FILM EVAPORATOR TUBE

**V. N. Gushshamova¹, A. P. Khomyakov², S. V. Mordanov³,
T. V. Khomyakova⁴, S. S. Petsura⁵**

^{1,2,3,4,5} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ 89126634949@yandex.ru

Abstract. The paper presents the results of a study of pressure losses due to friction along the length of the heat exchange tube in the tube space of the falling-film evaporator. The ratio of pressure losses due to the friction of the solution film on the surface of the tube and due to the friction of steam on the surface of the solu-

tion film is given. It is established that the limiting parameter of pressure loss in the heat exchange tube due to friction is the friction of the secondary steam on the surface of the solution film.

Keywords: falling-film evaporator, hydraulic resistance, friction pressure drops

Пленочные выпарные аппараты находят широкое применение в промышленности. Такие аппараты применяются для концентрирования растворов, в т. ч. чувствительных к высоким температурам. Аппараты характеризуются большей эффективностью теплообмена, а также малым временем пребывания раствора в греющей камере выпарного аппарата в отличие от других типов аппаратов.

Результаты исследований гидродинамики пленки орошающей жидкости представлены в значительном количестве работ [1–4]. Теоретическое описание теплоотдачи к пленке орошающей жидкости при ее нагревании или охлаждении в турбулентной области течения затруднительно, что объясняется сложностью этого течения, которое в этом случае сопровождается трехмерными хаотическими волнами на поверхности пленки. По этой причине большинство работ опираются на экспериментальные исследования [5–7].

Целью настоящей работы является исследование изменения давления по длине теплообменной трубки выпарного аппарата пленочного типа.

Исследования проведены методом математического численного моделирования для выпарного аппарата с падающей пленкой, оснащенного одной теплообменной трубкой (диаметр $\varnothing 38 \times 2$ мм, длина $L = 7$ м). Данные получали по длине теплообменной трубки с шагом $\Delta L = 0,1$ м.

Основные технологические параметры работы аппарата:

- 1) объемный расход исходного раствора — 100 л/ч;
- 2) полезная разность температур — 20 °С;
- 3) температура исходного раствора — 70 °С;
- 4) температура кипения раствора — 70 °С;
- 5) коэффициент теплопередачи принимали постоянным по всей длине теплообменной трубки, равным 2000 Вт/(м² · К).

На рис. 1 показаны общие потери давления за счет трения, потери давления за счет трения пара о поверхность пленки и потери давления за счет трения пленки о стенку трубки.

Получена зависимость изменения общих потерь давления за счет трения по длине теплообменной трубки:

$$\Delta p = 2,83L^2 + 0,22L + 12,48,$$

где Δp — потери давления в трубном пространстве, Па; L — длина теплообменной трубки, м.

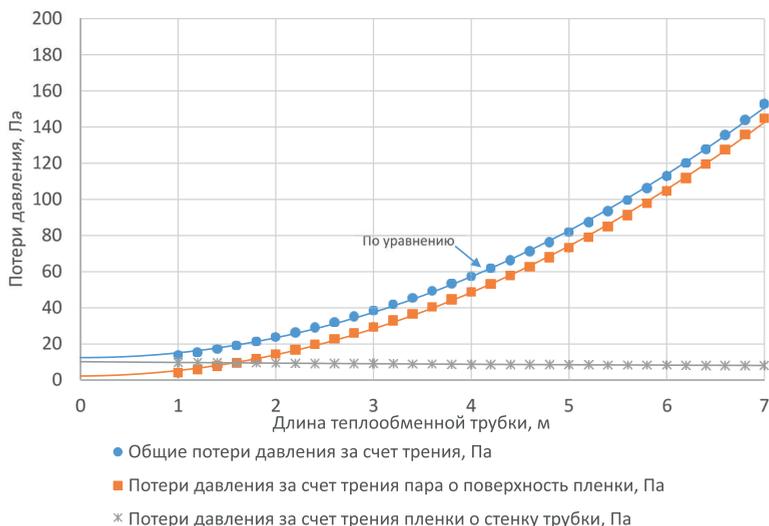


Рис. 1. Потери давления по длине теплообменной трубки

Анализ результатов исследования показал следующее. Общие потери давления по длине теплообменной трубки изменяются от 13,86 до 152,99 Па. Потери давления за счет трения пара о поверхность пленки изменяются от 4,1 до 144,88 Па. Потери давления за счет трения пленки раствора о стенку трубки изменяются по длине теплообменной трубки практически линейно в диапазоне от 9,75 до 8,1 Па.

Установлено, что потеря давления за счет трения пара о поверхность пленки является лимитирующим параметром общих потерь давления за счет трения.

Полученные результаты исследования могут быть использованы для определения оптимальной длины теплообменной трубки выпарного аппарата пленочного типа и снижения металлоемкости оборудования.

Список источников

1. Mass transfer characteristics of the high temperature falling film evaporation over a vertical wall under countercurrent laminar airflow / C. Li [et al.] // Experimental Thermal and Fluid Science. 2017. Vol. 82. P. 269–275.

2. Aursand E., Ytrehus T. Comparison of kinetic theory evaporation models for liquid thin-films // *International Journal of Multiphase Flow*. 2019. Vol. 116. P. 67–79.

3. Review on liquid film flow and heat transfer characteristics outside horizontal tube falling film evaporator: CFD numerical simulation / Q. Wang [et al.] // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2020. Vol. 163. 120440.

4. Modeling and simulation of an industrial falling film evaporator for alumina production / X. Wang [et al.] // *Chemical Engineering Research and Design*. 2020. Vol. 154. P. 303–315.

5. Левераш В. И. Экспериментальные исследования теплоотдачи к пленке кипящей жидкости, свободно стекающей по вертикальной поверхности // *Теплоэнергетика*. 1969. № 3. С. 86–88.

6. Марценюк А. С., Стабников В. Н. Пленочные тепло- и массообменные аппараты в пищевой промышленности. М. : Лег. и пищевая пром-сть, 1981. 160 с.

7. Лазарев В. Д. Экспериментальное определение толщины и скорости стекающей пленки при сгущении молока с сахаром // *Молочная пром-сть*. 1968. № 6. С. 20–22.