

УДК 661.727.4  
ББК 65.9(2)304.17  
К-76

*Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, т.: (861) 2752279;*

*Блягоз Хазрет Рамазанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств Майкопского государственного технологического университета, ректор Майкопского государственного технологического университета, т.: (8772) 570011;*

*Схалыхов Анзаур Адамович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, декан технологического факультета Майкопского государственного технологического университета, т.: (8772) 570412;*

*Верещагин Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, т.: (861) 2752279.*

### ДИАГРАММА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ АЦЕТОНА ИЗ СМЕСИ С АЗОТОМ

(рецензирована)

*Статья посвящена разработке диаграммы термодинамического состояния парогазовой смеси ацетона и азота. Рассмотрено применение разработанной диаграммы для моделирования процесса конденсации паров ацетона из смеси с азотом. С помощью диаграммы состояния определено количество сконденсированного ацетона при оптимальном температурном режиме по результатам моделирования процесса конденсации.*

*Ключевые слова: диаграмма термодинамического состояния, конденсация, моделирование, ацетон, азот.*

*Koshevoi Eugenij Panteleevich, Doctor Of Technical Sciences, Professor, head of the Department of Machines and Equipment for Food industry, Kuban State Technological University, tel.: (861) 2752279;*

*Blyagoz Khazret Ramazanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Technology, Machinery and Equipment for Food Industry, Rector of Maikop State Technological University, tel.: (8772) 570011;*

*Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the Department of Technology, Machinery and Equipment for Food Industry, Dean of the Technological Faculty of Maikop State Technological University, tel.: (8772) 570412.*

*Vereshchagin Alexander Gennadjevich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Machines and Equipment for Food Industry, Kuban State Technological University, tel.: (861) 2752279.*

### DIAGRAM OF THERMODYNAMIC STATE OF GAS -VAPOUR MIXTURE FOR THE MODELING OF THE PROCESS OF ACETONE CONDENSATION FROM MIXTURES WITH NITROGEN

*The article is devoted to the development of the diagram of thermodynamic state of gas-vapor mixture of acetone and nitrogen. The application of the developed diagrams for modeling of the process of condensation of acetone from a mixture with nitrogen has been considered. By the means of the phase diagram the number of condensed acetone at an optimum temperature for the simulation results of the condensation process has been determined.*

*Keywords: diagram of the thermodynamic state, condensation, modeling, acetone, nitrogen.*

В результате отгонки ацетона на окончательной стадии дистилляции инертным компонентом – азотом, в технологии очистки фосфатидных концентратов [1], образуется парогазовая смесь, из которой необходимо сконденсировать ацетон для дальнейшей его рекуперации. Для расчета процесса конденса-

ции необходимо иметь термодинамическую диаграмму состояния парогазовой смеси, определяющую ее физические и калорические зависимости.

Азотоацетоновая смесь, с точки зрения термодинамики, состоит из двух компонентов (сухого газа – азота и влаги – парообразного ацетона). Для полного определения теплового состояния влажного азота необходимо знать три параметра, характеризующие его состояние. В связи с тем, что уравнение состояния влажного азота можно представить в виде диаграммы с использованием двумерной системы координат, необходимо один из параметров состояния считать постоянным. Таким параметром выбирается давление, для которого получаем  $h$ - $x$  диаграмму по принципу построения диаграммы Молье или Рамзина [2]. В этой диаграмме вдоль оси ординат откладывают энтальпию  $h$  (Дж/кг), а вдоль оси абсцисс – массовое влагосодержание ацетона  $x$ , кг влаги ацетона на 1 кг сухого азота. Поскольку диаграмму строят для постоянного давления, ее можно использовать для графического анализа изобарных процессов и для тепловых балансов этих процессов, так как разность энтальпий ацетоноазотовой смеси для отдельно взятых состояний можно определить непосредственно по диаграмме.

Согласно основным законам термодинамики, разность энтальпий конечного и начального состояния в изобарных процессах определяет количество подведенной теплоты.

За основу  $h$ - $x$  диаграммы ацетоноазотовой смеси (рис. 1) было взято уравнение состояния:

$$h = \bar{c}_3 \cdot T + x \cdot (\bar{c}_2 \cdot T + \Delta H_2) \quad , \quad (1)$$

где  $\bar{c}_2 = 1,85$  кДж/кг К – среднее значение теплоемкости парообразного ацетона,  $\bar{c}_3 = 1,01$  кДж/кг К – среднее значение изобарной теплоемкости азота;

$$x = \frac{M_2}{M_3} \cdot \frac{\varphi \cdot p_s}{p - \varphi \cdot p_s} \quad (2)$$

$\varphi$  – относительная влажность азота, %.

$$p_s = \exp\left( ANTA - \frac{ANTB}{T + ANTC} \right) \cdot 133,2 \quad (3)$$

парциальное давление ацетона в насыщенном влажном азоте, Па;

$ANTA$ ,  $ANTB$ ,  $ANTC$  – коэффициенты Антуана,  $p$  – давление в процессе, Па.

Изотермы  $T = const$  прямые, пересекающие ось ординат на расстоянии  $\bar{c}_3 \cdot T$  от начала координат, их наклон определяется выражением  $\frac{dh}{dx} = \bar{c}_2 \cdot T + \Delta H_2$ .

На основании представленных зависимостей была разработана программа в среде Excel, что позволило ее использовать для моделирования диаграммы состояния смеси паров ацетона и азота.

Моделирование процесса конденсации паров ацетона из смеси с азотом [3] в конденсаторе с полимерными полуволоконными непористыми мембранами [4] позволило определить оптимальный температурный режим процесса конденсации на длине трубы (табл. 1), удельную поверхность пучка полуволоконных мембран на один метр длины трубы, на которую намотан пучок, составляющую 7,9 м<sup>2</sup>/м при изменении количества парогазовой смеси с 0,014 кг/с до 0,0095 кг/с. Последняя величина соответствует количеству азота в смеси с ацетоном. Давление в аппарате складывается из суммы парциальных давлений ацетона, равного 3682 Па и азота, равного 198968 Па.

Таблица 1 - Температурные данные процесса конденсации

Длина трубы, м	Температуры в газе, К			
	$\mathcal{G}_V$ температура п-г, К	$\mathcal{G}_{III}$ температура конденсата, К	$\mathcal{G}_{II}$ температура хладагента мембране, К	$\mathcal{G}_I$ температура п-г снаружи, К
0	363	308	263	308
1	336	292	264	308
2	308	268	265	308

Имея оптимальный температурный режим работы конденсатора, который для предотвращения супернасыщенного состояния должен соответствовать следующим параметрам: начальная температура парогазовой смеси на входе в конденсатор 363 К, что соответствует минимальной тепловой нагрузке на конденсатор, начальная температура хладагента, поступающего в конденсатор 263 К, предохлажденная парогазовая смесь, выходящая из трубного пространства конденсатора, должна иметь температуру 308 К, что соответствует температуре насыщения паров ацетона в смеси. Следо-

вательно, температура на внутренней стенке трубы должна соответствовать температуре насыщения. Учитывая, что предохлажденная парогазовая смесь попадет в межтрубное пространство, где интенсивно перемешивается, считаем, что температура в этой области конденсатора выравнивается и соответствует температуре насыщения паров ацетона. Такой тепловой режим позволяет организовать процесс конденсации без появления супернасыщенного состояния парогазовой смеси, что позволяет вести процесс конденсации в зазорах между трубками полволоконной мембраны.

Полученные данные модели оптимальных температурных режимов процесса конденсации паров ацетона из смеси с азотом были обработаны с помощью диаграммы состояния  $h-x$ , представленную на рисунке 1.

На представленной диаграмме видно, что азотоацетоновая смесь с начальным содержанием ацетона 631 г/кг (азота) и температурой 363 К от точки 1 адиабатно охлаждается без изменения количества смеси до состояния насыщения с температурой 308 К в точке 2 и соответствует началу конденсации. Процесс конденсации идет по линии насыщения  $\phi=100\%$  с выпадением конденсата ацетона с температурой 268 К до точки 3, соответствующей данной температуре и содержанию паробразного ацетона в смеси 78 г/кг (азота).

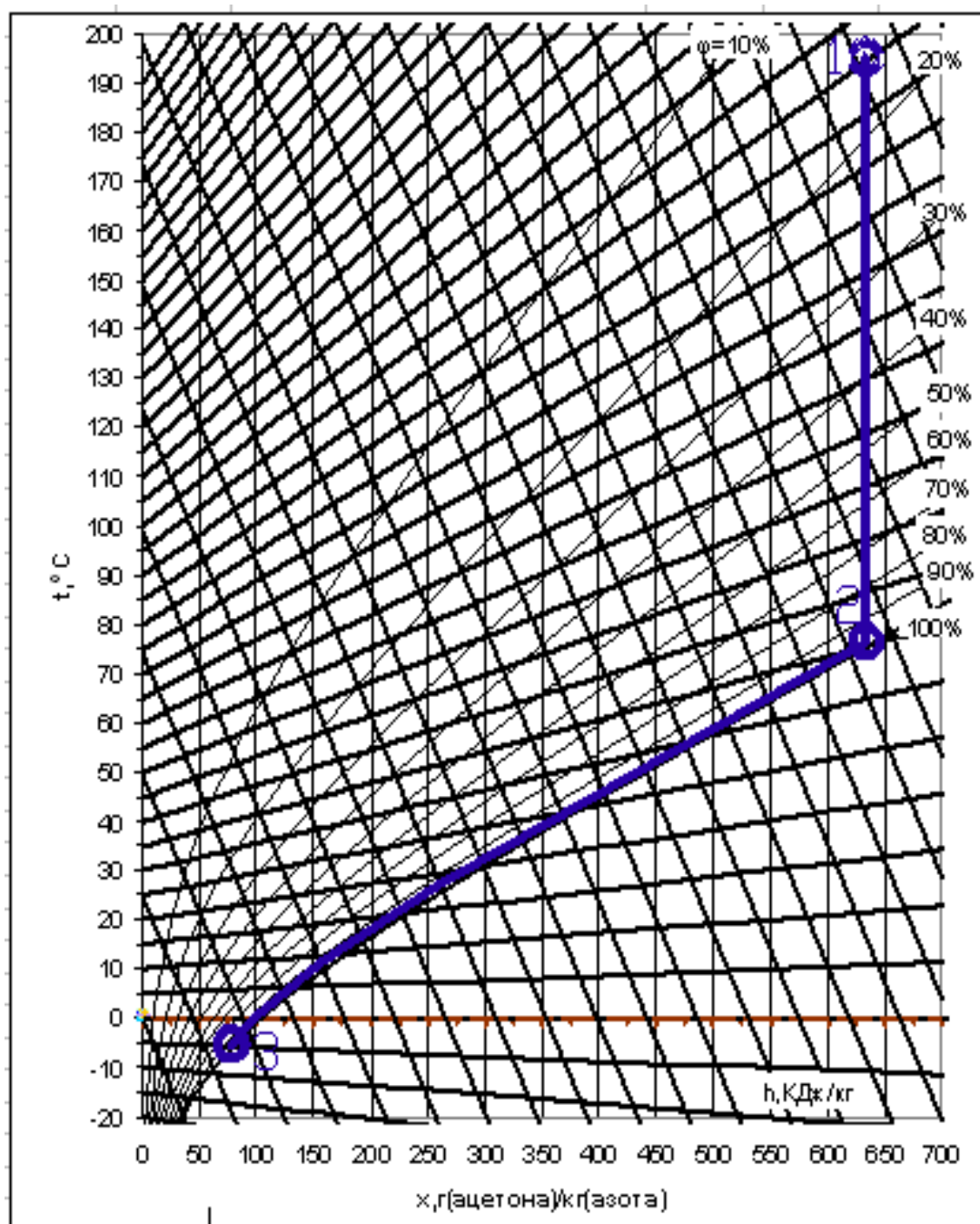


Рис. 1. Процесс конденсации ацетона из азотоацетоновой смеси

### **Выводы**

1) Диаграмма состояния смеси паров ацетона и азота необходима для определения содержания азота в смеси при моделировании процесса конденсации в технологии очистки фосфатидных концентратов.

2) Разработанная программа в среде Excel, позволяет моделировать диаграмму состояния смеси паров ацетона и азота при различных давлениях в системе, для термодинамических расчетов.

3) Установлен оптимальный температурный режим работы конденсатора: начальная температура смеси на входе в конденсатор 363 К, начало процесса конденсации при температуре 308 К, конечная температура конденсации 268 К при конечном содержании паробразного ацетона в смеси с азотом 78 г/кг (азота).

### **Литература:**

1. Схалихов А.А., Верещагин А.Г., Бутина Е.А. Обоснование системы процессов получения фосфолипидных продуктов и биодизеля при переработке отходов гидратации масла // Новые технологии. 2009. Вып. 3. С. 39-42.

2. Воронец Д., Козич Д. Влажный воздух: термодинамические свойства и применение: пер. с сербохорв. М.: Энергоатомиздат, 1984. С. 136.

3. Разработка модели конденсации парогазовых смесей с полимерными полуволоконными мембранами / А.А. Схалихов [и др.] // Новые технологии. 2009. Вып. 1. С. 39-43.

4. Конденсатор для парогазовых смесей с полимерными полуволоконными мембранами / А.А. Схалихов [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. 2009. №2-3. С. 68-70.