

УДК 66.064

*Аналізується процес мембранного розділення піролізної рідини. Складена математична модель тепломасопереноса*

*Ключові слова: піролізна рідина, мембранний апарат, математична модель, коефіцієнти перенесення*

*Анализируется процесс мембранного разделения пиролизной жидкости. Составлена математическая модель тепломасопереноса*

*Ключевые слова: пиролизная жидкость, мембранный аппарат, математическая модель, коэффициенты переноса*

*The process of membrane separation of a pyrolysis liquid is analysed. The mathematical model of heat and mass transference was made*

*Keywords: pyrolysis liquid, membrane device, mathematical model, transfer coefficient*

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПИРОЛИЗНОЙ ЖИДКОСТИ

**И. А. Буртная**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ул. Авиак. Антонова, 8, кв. 38, г. Киев, Украина, 03186

Контактный тел.: (050) 961-75-15

**Л. И. Ружинская**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ул. Шолом-Алейхема 9, кв. 115, г. Киев, Украина, 02156

Контактный тел.: (050) 961-75-15

## Введение

Наиболее распространенные способы утилизации изношенных шин – механическая переработка с получением резинового гранулята с дальнейшим использованием его в качестве вторичного сырья в производстве резинотехнических изделий или при строительстве дорог. Кроме того, достаточно большой процент изношенных покрышек используют для получения энергии.

В последнее время отечественными и зарубежными учеными исследованы и разработаны способы переработки изношенных покрышек с получением пиролизной жидкости, которая представляет собой смесь органических жидкостей, преимущественно предельных и непредельных углеводородов, а также смол, технического углерода, продуктов окисления, масла. Высокая теплотворная способность пиролизной жидкости обуславливает ее применение в качестве печного топлива.

## 2. Постановка проблемы

Пиролизная жидкость – продукт переработки изношенных шин и других отработанных резинотехнических изделий. Утилизация использованных автомобильных покрышек – это проблема, которая последние десятилетия привлекает внимание не только экологических служб, но и предпринимателей. По дан-

ным всеукраинского делового еженедельника «Власть денег» № 47 от 2011 года за год в Украине отправляют в утиль в среднем 5 – 7 млн. шин, причем последнее десятилетие количество изношенных шин возрастает на 100 – 200 тыс. штук.

## 3. Анализ последних исследований и публикаций

Проведенные нами исследования показывают, что при дальнейшей переработке из пиролизной жидкости можно выделить фракции, состав которых близок к бензиновой и дизельной фракциям, выделяемым из нефти.

Такая переработка возможна способом мембранного разделения на непористой полимерной мембране.

Аппарат для разделения пиролизной жидкости состоит из мембранных элементов в виде полимерных трубок, закрепленных в аппарате вертикально. На наружной поверхности мембранных элементов создается тонкая пленка пиролизной жидкости. Мембранный элемент обладает избирательной проницаемостью к отдельным компонентам или группе компонентов пиролизной жидкости и при определенных условиях (температуре, составе мембранного элемента) позволяет выделить бензиновую или дизельную фракцию.

Компоненты пиролизной жидкости, которые проходят через мембранный элемент испаряются на внутренней поверхности и выносятся потоком парогазовой смеси.

#### 4. Постановка задачи исследования

Производительность мембранного аппарата зависит от многих факторов: селективной проницаемости мембранного материала, температуры процесса, гидродинамических характеристик потока жидкости на наружной поверхности мембранных элементов давления и режимов движения парогазовой смеси внутри мембранных элементов.

Цель проведения исследований состоит в построении математической модели процесса мембранного разделения пиролизной жидкости, изучения влияния технологических факторов и выявления путей интенсификации мембранного разделения пиролизной жидкости.

#### 5. Основной материал исследований

Математическая модель процесса включает управления переноса тепловой энергии и массы выделяемых из пиролизной жидкости компонентов в парогазовую смесь. Учитывая, что область, в которой рассматривается процесс, представляет собой полый цилиндр, уравнения переноса записываем в цилиндрической системе координат.

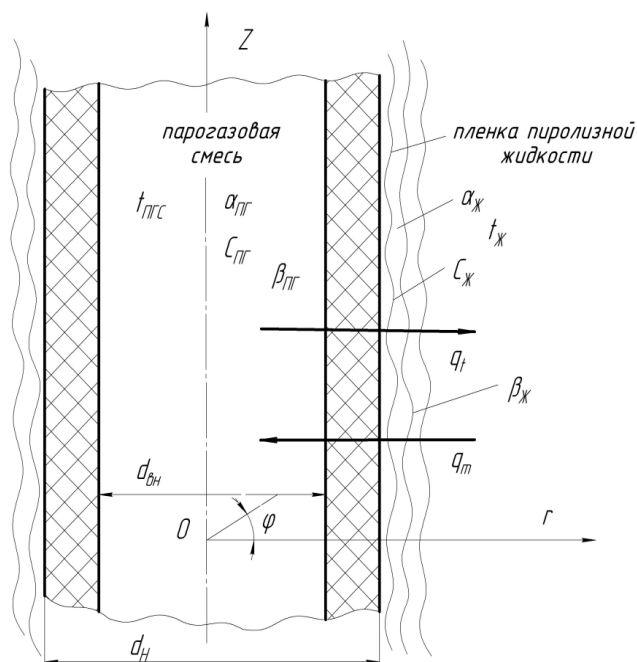


Рис. 1. Схема мембранного разделения пиролизной жидкости:  $q_t$  - поток теплоты;  $q_m$  - поток массы

Обозначим температуру пиролизной жидкости –  $t_{ж}$ , температуру парогазовой смеси –  $t_{пг}$ , концентрации выделяемых из жидкости компонентов в пиролизной жидкости –  $C_{ж}$ , в парогазовой смеси –  $C_{пг}$ , коэффициенты теплопередачи в пиролизной жидкости –  $\alpha_{ж}$ , в парогазовой смеси –  $\alpha_{пг}$ , коэффициенты массоотдачи в пиролизной жидкости –  $\beta_{ж}$ , в парогазовой смеси –  $\beta_{пг}$ .

Условия теплообмена и массообмена на наружной и внутренней поверхностях мембранного элемента постоянны по длине мембранного элемента и по

окружности. При низких значениях проницаемости мембранного элемента по отношению к выделяемым компонентам локальные значения концепций этих компонентов в жидкости и парогазовой смеси незначительно отличаются от средних по длине мембранного элемента, что позволяет сделать допущение

$$C_{пг} = \text{const}$$

$$C_{ж} = \text{const}$$

Коэффициенты теплопроводности материала мембранного элемента –  $\lambda_m$  и коэффициент диффузии выделяемых компонентов пиролизной жидкости –  $D$  имеют низкие значения. Термическое сопротивление и сопротивление переносу массы вдоль оси  $z$  на два порядка выше термического сопротивления и сопротивления массы вдоль оси  $r$ , следовательно, потоками теплоты  $q_t$  и потоками массы  $q_m$  вдоль оси  $z$  можно пренебречь, потоками теплоты  $q_t$  и массы  $q_m$  по оси  $\varphi$  пренебрегаем, так как задача осесимметрична.

С учетом принятых допущений математическая модель процесса запишется в виде:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_m \left( \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right). \quad (2)$$

Начальные условия:

$$\tau = 0 \quad t = t_n(r); \quad C = C_n(r) \quad (3)$$

Граничные условия:

$$r = \frac{d_{вн}}{2} \quad \alpha_{пг}(t - t_{пг}) = -\lambda_m \frac{\partial t}{\partial r}; \quad (4)$$

$$\beta_{пг}(C - C_{гп1}) = D \frac{\partial C}{\partial r}; \quad (5)$$

$$r = \frac{d_{н}}{2} \quad \alpha_{ж}(t - t_{ж}) = \lambda_m \frac{\partial t}{\partial r}; \quad (6)$$

$$\beta_{ж}(C - C_{гп2}) = -D \frac{\partial C}{\partial r}. \quad (7)$$

Система дифференциальных уравнений (1) – (2) при начальных условиях (3) и граничных условиях (4) – (7) решается методом конечных разниц. Значение коэффициентов теплопередачи  $\alpha_{ж}$  и массоотдачи определяются из критериальных уравнений, описывающих пленочное течение жидкости на вертикальной поверхности [1], а значение коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_{пг}$  и  $\beta_{пг}$  рассчитывающая по известным критериальным уравнениям описывающим течение в трубах [2].

#### 6. Выводы

Решение позволяет определить поля температур и концентраций в мембранных элементах в зависимости от условий проведения процесса разделения пиролиз-

ной жидкости и прогнозировать возможности интенсификации процесса за счет изменения технологических режимов работы мембранного аппарата.

Литература

1. Воронцов, Е.Г. Теплообмен в жидкостных пленках. / Е.Г. Воронцов, Ю.М. Тананайко. – К.:«Техника», 1972. – 194 с.
2. Исаченко, В.П. Теплопередача. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел.– М.: Энергия, 1981. – 417 с.

УДК 621.316

# РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ У ТРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ФРИЗЕ

**В.В. Гнілицький**

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедрою\*  
Контактний тел.: (0412) 37-84-82  
E-mail: gnil@zту.edu.ua

**О.А. Поліщук**

Аспірант  
\*Кафедра автоматики та управління в технічних системах  
Житомирський державний технологічний університет  
вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, Україна, 10005  
E-mail: alex\_zdtu@ukr.net

*Запропонована модель компенсації реактивної потужності (КРП) та симетрування навантаження у трипровідних мережах на основі теорії Фризе*

*Ключові слова: компенсація реактивної потужності, симетрування навантаження, теорія Фризе*

*Предложена модель компенсации реактивной мощности и симметрирования нагрузки в трехпроводных сетях на основе теории Фризе*

*Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, симметрирование нагрузки, теория Фризе*

*The model to reactive power compensation and balancing load in three-wire networks on base of the theories Fryze is offered*

*Key words: reactive power compensation, balancing load, theories Fryze*

**1. Вступ**

Під несиметричним режимом трифазної електричної мережі розуміють такий режим, при котрому умови роботи всіх чи однієї фази є неоднаковими [3].

Несиметрія напруг та струмів призводить до виникнення додаткових втрат активної потужності в електричних мережах, зниження їх пропускної здатності, а також до зменшення терміну експлуатації електрообладнання [3].

**2. Аналіз літературних джерел та останніх досліджень.**

Розглянемо два підходи до КРП з симетруванням навантаження.

Перший підхід [2,3] базується на введенні такої величини, як пульсуюча потужність зворотної послідовності:

$$N_2 = 3U_1 \dot{I}_2, \tag{1}$$

де  $\dot{I}_2$  – комплексне значення струму зворотної симетричної послідовності [6];  $\dot{U}_1$  – комплексне значення напруги прямої послідовності. Причому міжфазні реактивні потужності (РП) симетрувальних установок знайдуться за наступними співвідношеннями:

$$Q_{bc} = \frac{1}{3}((Q_{НОМ} - Q_{ВХ}) + 2\text{Im}(N_2)), \tag{2}$$

$$Q_{ca} = \frac{1}{3}((Q_{НОМ} - Q_{ВХ}) - \text{Im}(N_2) - \sqrt{3} \text{Re}(N_2)), \tag{3}$$

$$Q_{ab} = \frac{1}{3}((Q_{НОМ} - Q_{ВХ}) - \text{Im}(N_2) + \sqrt{3} \text{Re}(N_2)), \tag{4}$$

де  $Q_{ВХ}$  – задане значення вхідної реактивної потуж-