

УДК 536.7; 532.6; 541.183

СТУДЕНЕЦ В.П.

Национальный технический университет Украины
“Киевский политехнический институт”

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ РАБОЧИХ ТЕЛ НА БАЗЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЛИОФОБНЫХ СИСТЕМ

Розглянуто теплофізичні особливості високодисперсних ліофобних систем, що використовуються як гетерогенні робочі тіла.

Рассмотрены теплофизические особенности высокодисперсных лиофобных систем, используемых в качестве гетерогенного рабочего тела.

The thermophysical peculiarities of highly dispersed liophobic systems as working media are considered.

a – ускорение деформации жидкости в единичном капилляре;
 L – линейный размер единичного капилляра;
 m – масса жидкого тела;
 P – периметр смачивания;
 r – внутренний радиус единичного капилляра;
 S – площадь поверхности жидкости;
 t – время осуществления деформации жидкости в единичном капилляре;
 V – объем жидкости;
 v – скорость движения жидкости под действием поверхностных сил;

$\cos \theta$ – краевой угол смачивания;
 ρ – плотность жидкости;
 σ – поверхностное натяжение жидкости;
 φ – пористость капиллярно-пористого тела;
 K – капилляры;
 $K_{АП}$ – капиллярные силы;
 $K_{ПТ}$ – капиллярно-пористое тело;
 Π – рабочий орган (поршень) гидрокапиллярного устройства;
 ВЛС – высокодисперсная лиофобная система;
 ГРТ – гетерогенное рабочее тело;
 КПТ – капиллярно-пористое тело.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей поведения высокодисперсных лиофобных систем, используемых в качестве нового гетерогенного рабочего тела для энергоустройств различного класса: гидрокапиллярных аккумуляторов, демпферов, автономных исполнительных механизмов [1].

Рассматриваемая система состоит из двух компонентов – жидкости и капиллярно-пористого тела, не смачиваемого этой жидкостью. В процессе сжатия системы происходит принудительное развитие межфазовой поверхности “жидкость – твердое тело” (т.е. накопление энергии системой за счет образования межфазовой поверхности). В обратном процессе расширения системы (после снятия внешней нагрузки) происходит экструзия, т.е. самопроизвольный выход

жидкости из КПТ, сокращение межфазовой поверхности, высвобождение накопленной энергии и совершение полезной работы [1, 2].

Особенностью использования ВЛС в качестве рабочего тела является наличие гистерезисной петли в процессе изотермического сжатия – расширения. Ранее предложена термодинамическая модель данного процесса, содержащая в себе механизм гистерезиса и позволяющая производить количественную оценку рассмотренных процессов [2]. Получено выражение для теплоемкости межфазовой поверхности как функции температуры [3]. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование влияния температуры на основные параметры системы в процессе ее изотермического сжатия-расширения (краевой угол смачивания ВЛС, давления интрузии и экструзии) [4].

В настоящей работе количественно оценены временные и скоростные характеристики изотермического процесса расширения конкретных ВЛС, т.е. самопроизвольной экструзии жидкой фазы из КПТ, а также исследованы зависимости данных характеристик от температурного уровня процесса.

Исходным положением данной работы является тот факт, что в результате принудительной интрузии форма поверхности жидкой компоненты ГРТ не соответствует равновесной конфигурации (минимуму потенциальной поверхностной энергии). И при снятии внешней нагрузки жидкость будет стремиться к равновесному состоянию, т.е. самопроизвольному выходу из КПТ, сокращая свою поверхность под действием поверхностных сил (поверхностного натяжения и адгезии).

Таким образом, к примеру, для ВЛС, представляющей единичный капилляр с линейным размером L и внутренним радиусом r , заполненный жидкостью объемом V с плотностью ρ и поверхностным натяжением σ , можно записать следующие характеристики.

Единичный капилляр

Интенсивность капиллярных сил, действующих на жидкость:

$$F_{кап} = \frac{2\sigma|\cos\theta|}{r} \cdot \pi r^2 = 2\pi r\sigma|\cos\theta| = \sigma P|\cos\theta| ;$$

масса жидкого тела:

$$m = \rho V = \rho \pi r^2 L ;$$

ускорение деформации жидкости (изменения конфигурации при переходе в равновесное состояние):

$$a = \frac{F_{кап}}{m} = \frac{2\sigma|\cos\theta|}{\rho r L} ;$$

время для осуществления деформации, если считать отличие исходной формы поверхностей от равновесной $S \approx L$:

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = L \sqrt{\frac{\rho r}{\sigma|\cos\theta|}} = \frac{V}{\pi r^2} \sqrt{\frac{\rho r}{\sigma|\cos\theta|}} ;$$

скорость движения жидкости под действием поверхностных сил:

$$v = at = 2 \sqrt{\frac{\sigma|\cos\theta|}{\rho r}} .$$

Если же ВЛС будет представлена в виде КПТ как группы прямых цилиндрических капилляров, принудительно заполненных не смачивающей их жидкостью, аналогичные характеристики системы будут иметь следующий вид.

Капиллярно-пористое тело

Интенсивность капиллярных сил:

$$F_{кап} = \sigma P|\cos\theta| ;$$

масса жидкого тела:

$$m = \rho V = \rho S_K L ;$$

ускорение деформации жидкости:

$$a_{кпт} = \frac{F_{кап}}{m} = \frac{2\sigma|\cos\theta|}{\rho r L} ;$$

время осуществления деформации:

$$t_{кпт} = \sqrt{\frac{2L}{a_k}} = L \sqrt{\frac{\rho r}{\sigma|\cos\theta|}} ;$$

скорость движения жидкости под действием поверхностных сил:

$$v_{кпт} = a_{кпт} t_{кпт} = 2 \sqrt{\frac{\sigma|\cos\theta|}{\rho r}} ;$$

скорость движения рабочего органа (поршня) гидрокапиллярного устройства, если данная ВЛС используется как рабочее тело:

$$v_{п} = \varphi v_{кпт} = 2\varphi \sqrt{\frac{\sigma|\cos\theta|}{\rho r}} .$$

Полученные зависимости были использованы для оценки соответствующих характеристик реальных ВЛС, чьи изотермы сжатия-расширения (в широком температурном диапазоне) представлены на рис. 1 и 2. Численные значения представлены в таблице.

Выводы

1. Получены экспериментальные изотермы сжатия – расширения данных ГРТ и определены

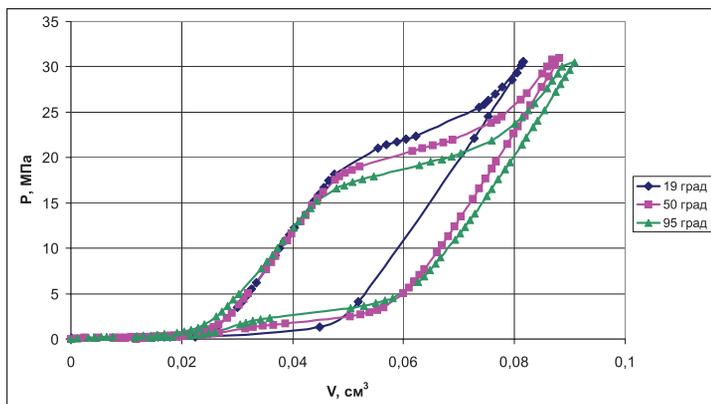


Рис. 1. Изоثرмы сжатия-расширения ВЛС “силикагель + вода” при температурах 19, 50, 95 °С.

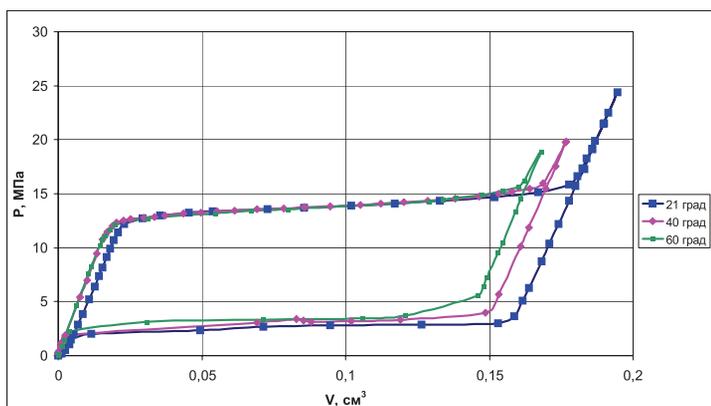


Рис. 2. Изоثرмы сжатия-расширения ВЛС “пористое стекло + ртуть” при температурах 21, 40, 60 °С.

исследуемые характеристики процесса расширения в широком диапазоне температур.

2. Полученные результаты дают возможность количественно оценить ряд теплофизичес-

Таблица

| Силикагель + H ₂ O | | | Пористое стекло + Hg | | |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| t, °C | V _{кпп} , м/с | V _п , м/с | t, °C | V _{кпп} , м/с | V _п , м/с |
| 19 | 19,8 | 10,2 | 21 | 28,5 | 21,4 |
| 50 | 79,7 | 41,1 | 40 | 30,2 | 22,7 |
| 95 | 94,7 | 48,9 | 60 | 31,4 | 23,5 |

ких параметров ВЛС при использовании их в качестве рабочих тел и позволяют регулировать энергетические параметры энергоустройств, работающих на базе ГРТ с учетом степени диссипации запасаемой энергии при синтезе данных рабочих тел.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ерошенко В.А.* Термомолекулярная энергетика // Промышленная теплотехника. – 1992. – Т. 14, № 1–3. – С. 22–25.
2. *Студенец В.П.* Термодинамические особенности гетерогенных рабочих тел как динамических систем // Вісник Київського національного університету, сер.фіз.-мат. – 2001. – вип. № 5 – С. 173–178.
3. *Ерошенко В.А., Студенец В.П.* Поверхнева та об’ємна теплоємності у гетерогенних робочих тілах. // Доповіді НАНУ. – 2002. – №4. – С. 104–111.
4. *Студенец В.П.* Некоторые теплофизические особенности высокодисперсных лиофобных систем как рабочих тел // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, №4. – С. 206–208.

Получено 12.10.2005 г.