

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ 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.

$c$  – удельная теплоемкость;  
 $M$  – молярная масса жидкости;  
 $p$  – давление;  
 $V$  – объем;  
 $\beta$  – изотермический коэффициент сжатия;  
 $\Gamma$  – поверхностное сгущение жидкой фазы (адсорбция);  
 $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкой компоненты;  
 $\Omega$  – удельная межфазовая поверхность.  
ВЛС – высокодисперсная лиофобная система;  
ГРТ – гетерогенное рабочее тело;  
КПТ – капиллярно-пористое тело.

### Верхние индексы:

$\Sigma$  – суммарное значение.

### Нижние индексы:

$ж$  – жидкость;  
 $КПТ$  – капиллярно-пористое тело;  
 $c$  – система;  
 $co$  – система в начальном состоянии;  
 $10$  – межфазная поверхность «жидкость – газ (вакуум)» (краевой угол смачивания  $180^\circ$ );  
 $12$  – межфазная поверхность «жидкость – твердое тело»;  
 $s$  – насыщение;  
 $V$  – объемная составляющая;  
 $\Omega$  – поверхность составляющая.

Настоящая работа касается 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]. Пример изотермы сжатия-расширения конкретной ВЛС представлен на рис.1.

Ключевой 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 исследования влияния температуры на основные параметры систе-

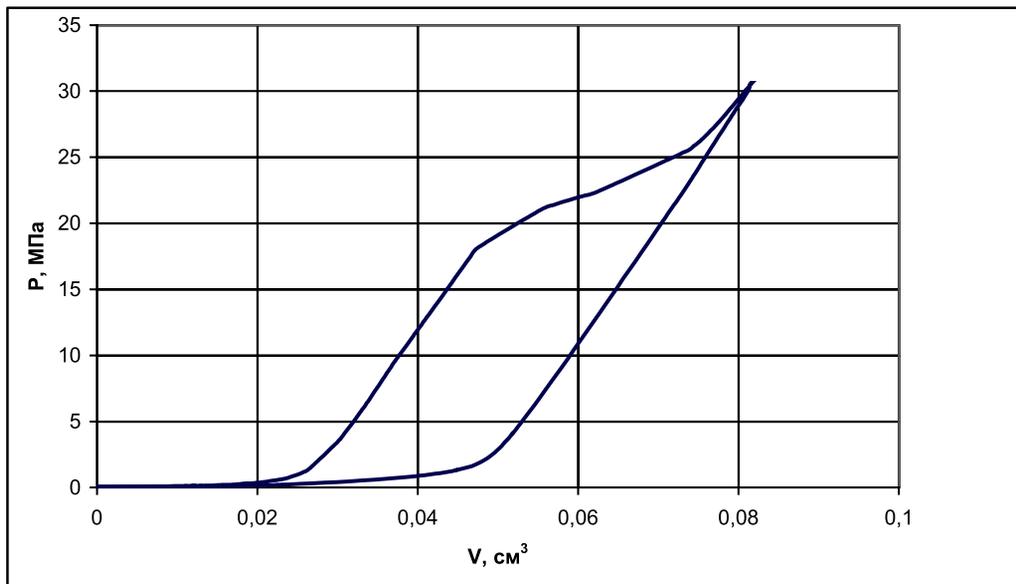


Рис. 1. Изотерма сжатия-расширения ВЛС «силикагель КСК-Г + Н<sub>2</sub>О».

мы в процессе ее изотермического сжатия-расширения (краевой угол смачивания ВЛС, давления интрузии и экструзии) [4]. Дана количественная оценка временных и скоростных характеристик изотермического процесса расширения конкретных ВЛС в зависимости от температурного уровня [5]. Рассмотрены термоэффекты, возникающие в процессах изотермического сжатия ВЛС [6].

Целью настоящей работы является: уточненная количественная оценка термической реакции ВЛС на различных стадиях процесса сжатия ВЛС; количественная оценка теплоемкости в узловых точках данного процесса.

Процесс сжатия ВЛС можно условно разделить на три последовательных этапа (фазы) [6]:

1) квазиупругую деформацию системы при росте внешнего давления от нуля до давления Лапласа;

2) интрузию жидкой компоненты ВЛС в поровую полость КПТ с развитием межфазовой поверхности от нуля до максимального значения;

3) постинтрузионную деформацию ВЛС при росте внешнего давления выше давления Лапласа.

Исходной точкой рассмотрения является значение удельной теплоемкости ВЛС в начальной точке P-V диаграммы:

$$c_c = c_{ж} + c_{КПТ} \quad (1)$$

Первая, деформационная, фаза процесса сжатия ВЛС сопровождается эластокалорическим эффектом, величину которого можно определить следующим образом [6]:

$$q_v = \beta_c V_{c0} \frac{p_2^2 - p_1^2}{2}, \quad (2)$$

$$\text{где } \beta_c = -\frac{1}{V_{c0}} \cdot \frac{\Delta V_c}{\Delta p}.$$

Вторая, интрузионная, фаза процесса сжатия ВЛС является эндотермическим процессом развития межфазовой поверхности со следующим термическим эффектом [2,4]:

$$q_\Omega = T \Omega_{12} \cdot \frac{\sigma_{10}}{P_{10}} \cdot \frac{dP_s}{dT}, \quad (3)$$

$$\text{где } P_{10} = 2\sigma_{10}/r_k.$$

Теплоемкость ВЛС в прединтрузионной точке P-V диаграммы определяется выражением (1). Теплоемкость ВЛС в постинтрузионной точке P-V диаграммы определяется с учетом поверхностной составляющей теплоемкости жидкой компоненты [3]:

$$c_{ж}^\Sigma = c_v (1 - M\Gamma\Omega_{12}) + c_\Omega \Omega_{12}, \quad (4)$$

$$c_c = c_{КПТ} + c_{ж}^\Sigma \quad (5)$$

Таблица.

Фаза процесса	$\beta_c$ , 1/Па	$\Omega$ , м <sup>2</sup> /кг	$c$ , Дж/кгК	$q$ , Дж/кг
1	$7,72 \cdot 10^{-10}$		5047,08	+123,80
2		$7,30 \cdot 10^4$	5043,99	-6,54
3	$1,15 \cdot 10^{-8}$		5040,90	+91,65

Третья, постинтрузионная, фаза процесса сжатия, как и первая, является экзотермической, благодаря эластокалорическому эффекту. Термическая реакция ВЛС определяется выражением (2). Величина теплоемкости системы соответствует выражению (5).

В таблице приведена численная оценка термической реакции ВЛС «силикагель КСК-Г + Н<sub>2</sub>О» (рис.1) на процесс сжатия, выполненная по изложенной методике со следующими уточнениями (по сравнению с [6]):  $c_{КПТ}$  в (1) взята из [7];  $\beta_c$  в (2) рассчитана с учетом упругой деформации КПТ;  $q_s$  рассчитана по выражению (3), полученному по результатам [2,4], при этом  $\Omega_{12}$  получена с учетом деформации КПТ;  $c_c$  в (5) рассчитана с учетом поверхностной составляющей (4).

### Выводы

Полученные результаты дают возможность количественной оценки ряда теплофизических параметров ВЛС при использовании их в качестве рабочих тел. Сделанные выводы позволяют регулировать энергетические параметры энергоустройств, работающих на базе ГРТ, на стадии синтеза 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.* Поверхневая объемная теплоемкость у гетерогенных рабочих телах // 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.

5. *Студенец В.П.* Теплофизические особенности процесса расширения рабочих тел на базе высокодисперсных лиофобных систем // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28. – №6. – С. 91–93.

6. *Ерошенко В.А.* Влияние удельной межфазной поверхности в гетерогенной лиофобной системе на наблюдаемые термоэффекты в процессе ее изотермического сжатия // Российский химический журнал (Российского химического общества им. Д.И.Менделеева). – 2002. – Т. XLVI, №3. – С. 31–38.

7. *Березин А.А., Киселев А.Г., Синицын В.А.* Теплоемкость адсорбционной системы силикагель – вода // Доклады Академии наук СССР. – 1960. – Т. 135, №3. – С. 638–641.