

## О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СТРУКТУРЫ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ КОЛЛОИДНЫХ ТЕЛ

С. И. СМОЛЬЯНИНОВ, Г. Г. КРИНИЦЫН

(Представлена научно-методическим семинаром ХТФ)

При изучении структурообразовательных процессов, протекающих при сушке капиллярно-пористых коллоидных тел, согласно принципам физико-химической механики дисперсных структур, развитым академиком П. А. Ребиндером [1], определенный интерес может иметь одна из характеристик торфяных структур, предложенных М. П. Воларовичем и Н. В. Чураевым [2], — гидравлический радиус пор ( $\delta$ ), вычисляемый как отношение активной пористости к величине кинетической удельной поверхности и характеризующий средние размеры водопроводящих пор.

По всей вероятности, гидравлический радиус пор как усредненная характеристика капилляров торфа может быть применена при оценке сил капиллярного давления в уравнении Лапласа или в выражении для капиллярного потенциала [1, 2].

В состоянии равновесия капиллярный потенциал тела в любой точке равен потенциалу силы тяжести [3]. Поскольку последняя выступает как внешняя сила можно, по-видимому, установить связь капиллярного потенциала с любой внешней силой, стремящейся изменить его.

Справедливость подобного заключения можно показать, используя экспериментальные данные М. П. Воларовича и Н. В. Чураева [2] по определению изменения структурных характеристик торфа при его сжатии (табл. 1).

При условии постоянства или допустимого изменения поверхностного натяжения и смачиваемости, что для различных торфов вполне приемлемо, формулу Лапласа можно записать как

$$P_{\sigma} = \frac{a}{\sigma},$$

где  $a$  — постоянная;

$\delta$  — гидравлический радиус пор.

Рассчитанные нами значения  $a$  приведены в табл. 1. При этом сделана попытка учесть коэффициент бокового давления ( $\epsilon$ ), который по Терцаги [4] определяет связь капиллярного давления ( $P_{\sigma}$ ) с давлением, определяемым по компрессионной кривой ( $P_s$ ). В одном случае коэффициент бокового давления принят равным единице, в другом вычислен по эмпирическому уравнению [5]. Как видно из табл. 1, поправка на коэффициент бокового давления не вносит принципиальных изменений в характер полученной зависимости, кроме того, последующая про-

Таблица 1

Изменение водных свойств и структуры медиум-торфа.  
Расчет постоянной уравнения Лапласа.

№ ш.п.	Давление сжатия $P_s$ кг/см <sup>2</sup>	Содержание неподвиж- ной воды $W_n$ г/г	Активная пористость $m$	Кинетическая удельная поверхность $S_0$ м <sup>2</sup> /г	Гидравлический радиус пор $\sigma$ , $\mu$	Постоянная уравнения Лапласа, кг/см-10 <sup>4</sup>			
						при коэффи- циенте боко- вого давления $\xi=1$ $a$	при коэффициенте бокового давления, рассчитанном по эмп. формуле		
							$\xi$	капиллярное давление $P_c$ кг/см <sup>2</sup>	$a$
1	0,14	4,3	0,53	13,5	0,373	0,052	0,64	0,11	0,041
2	0,17	3,5	0,53	22,1	0,228	0,038	0,63	0,13	0,030
3	0,18	3,1	0,56	20,7	0,235	0,042	0,63	0,14	0,033
4	0,21	2,9	0,61	28,5	0,195	0,041	0,62	0,15	0,029
5	0,29	2,1	0,70	40,4	0,167	0,048	0,62	0,22	0,037
6	0,40	1,8	0,66	37,9	0,115	0,046	0,61	0,29	0,033
7.	0,45	1,2	0,71	78,1	0,066	0,029	0,60	0,33	0,022

верка показала, что при  $\varepsilon=1$  полученные результаты ближе к данным других авторов.

Таким образом, наблюдается удовлетворительное постоянство значений названной постоянной, которую в среднем можно принять равной  $0,043 \text{ кг} \cdot \text{см} \cdot 10^4$  при условии выражения  $P_{\sigma}$  в  $\text{кг}/\text{см}^2$  и  $\delta$  — в микронах.

Поскольку можно полагать, что установленная зависимость справедлива с достаточной точностью в большинстве случаев, гидравлический радиус пор в торфяной системе может быть определен, если известно капиллярное давление.

В этом отношении большой интерес представляют исследования С. С. Корчунова [6]. Им показано, что

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\frac{1}{\alpha} W},$$

или

$$\lg \varphi = \lg \varphi_0 - \frac{1}{2,3 \alpha} \cdot W,$$

где

$W$  — абсолютная влажность торфа,  $г/г$ ;

$\varphi$  — энергия связи воды с торфом,  $гсм/см^3$ ;

$\varphi_0$  и  $\alpha$  — постоянные для данного образца торфа коэффициенты.

Показано, что найденная связь носит универсальный характер, причем постоянная  $\varphi_0$  не зависит от типа торфа и ее логарифм, по С. С. Корчунову, в среднем равен 3,50. Что же касается другой постоянной  $\alpha$ , то С. С. Корчуновым установлена ее связь с полной влагоемкостью торфа ( $W_n$ ).

$$\alpha = 0,14 W_n,$$

и эта постоянная названа коэффициентом влагоемкости.

Как указывает С. С. Корчунов энергия связи воды с торфом, вычисляемая по приведенной формуле, идентична капиллярному давлению.

Многие исследователи [2, 4, 6] указывают на аналогию между усадкой при сушке торфа и механическом его сжатии. Следовательно, рассмотренные закономерности позволяют определять важнейшие характеристики структурообразовательных процессов в торфяных системах (капиллярное давление и гидравлический радиус пор), основываясь на измерении двух сравнительно легко находимых величин — влажности торфа в каждый данный момент времени и его полной влагоемкости.

Так, для расчета гидравлического радиуса пор может быть предложена следующая формула:

$$\lg \delta = 3,09 \frac{W}{W_n} - 1,87,$$

где

$\delta$  — гидравлический радиус пор,  $\mu$ ;

$W$  — абсолютная влажность торфа,  $г/г$ ;

$W_n$  — полная влагоемкость торфа  $г/г$ , определяемая по известной методике [7].

Значение гидравлического радиуса пор, вычисленное по предложенной формуле, нужно рассматривать как величину приближенную, причем правомочность применения данной формулы для различных условий нуждается в безусловной проверке. Однако настоящий способ обладает тем преимуществом, что позволяет определять изменение искомых параметров в широком диапазоне влажности, что не может быть сделано другими методами.

Из приведенной зависимости следует, что гидравлический радиус пор, определяемый капиллярным давлением, при влажности торфа, отвечающей полной влагоемкости, будет составлять около 16 микрон, независимо от типа торфа при условии постоянства величины  $a$ . С учетом методики определения  $W_{II}$  эта величина вполне согласуется с определением А. В. Лыковым [3] капиллярных пор по соотношению капиллярного потенциала и потенциала поля тяжести.

С. С. Корчунов [6] указывает, что экстраполированная величина намного ниже действительной энергии связи последних следов воды в торфе, и поэтому предлагаемая им формула справедлива лишь для сравнительно высоких значений влажности. По-видимому, этим нижним пределом влажности должно быть такое содержание воды в торфе, какое отвечает 10—30 молекулярным слоям, адсорбированным на внутренней поверхности капилляров, т. е. абсолютной влажности 0,5 г/г [2]. Этой влажности, согласно вышеуказанной формуле, соответствует радиус капилляров порядка  $3 \cdot 10^{-7}$  мм и капиллярное давление — 14,3 кг/см<sup>2</sup>. Интересно заметить, что именно такое давление необходимо по А. В. Думанскому [6] для отжатия капиллярной влаги.

В процессе естественной сушки образцов трижды пропущенного через мясорубку, формованного торфа и смеси его (топливо-плавильный материал) с железной рудой (магнетитовый концентрат) в отношении 100:6 определялось изменение влагосодержания. Полное влагосодержание торфа — 12,50 г/г, смеси торфа с рудой (ТПМ) — 10,8 г/г.

На рис. 1 представлены рассчитанные нами по уравнению С. С. Корчунова значения капиллярного давления. Как видно, кривые изменения этого показателя во времени имеют характерный S-образный вид, что полностью соответствует ранее установленным закономерностям [8].

Рассчитанные по вышепредложенному уравнению гидравлические радиусы пор изменяются в процессе сушки торфа от 0,362 до 0,015 микрон при изменении влагосодержания от 5,80 до 0,20 г/г и для (ТПМ)

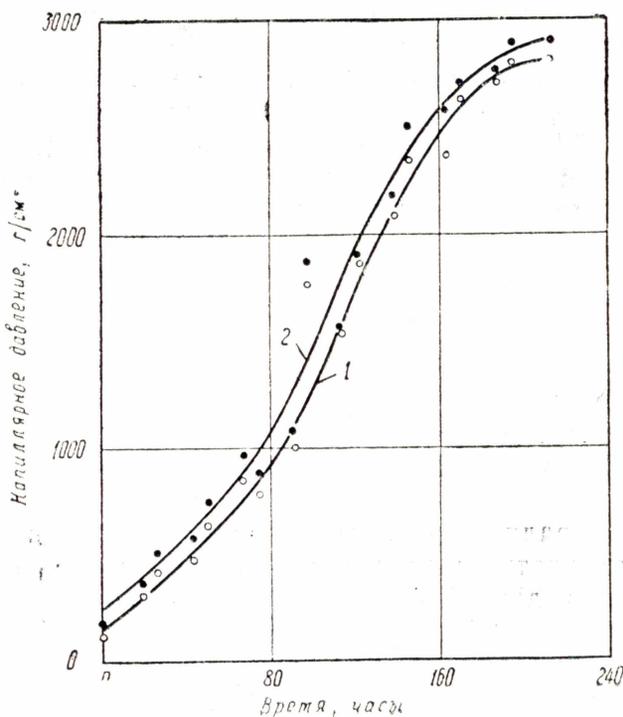


Рис. 1. Изменение капиллярного давления в образцах торфа (кривая 1) и топливо-плавильных материалов (кривая 2) при естественной сушке на открытом воздухе.

от 0,240 до 0,014 микрон при уменьшении влагосодержания от 4,38 до 0,15 г/г.

Полученные значения хорошо соответствуют значениям этого показателя, полученным ранее другим путем [2], и общим закономерностям сушки капиллярно-пористых коллоидных тел [3], что свидетельствует в пользу применимости указанного уравнения.

Интересно отметить, что на протяжении всего периода сушки капиллярное давление в образцах ТПМ больше, а гидравлический радиус пор соответственно меньше, чем в образцах торфа. Таким образом добавка тонкоизмельченной железной руды в сырую торфяную массу приводит к образованию более компактных коагуляционных структур и это влияние заметно на всех этапах протекания структурообразовательных процессов, протекающих при сушке.

### Выводы

1. Показана возможность использования усредненной характеристики структуры капиллярно-пористых коллоидных тел, предложенной М. П. Воларовичем и Н. В. Чураевым — гидравлического радиуса пор для характеристики сил капиллярной контракции.
2. Для определения капиллярного давления в широком диапазоне изменения влагосодержания использовано уравнение С. С. Корчунова.
3. Предложено полуэмпирическое уравнение для определения гидравлического радиуса пор.
4. Показано, что введение тонкоизмельченных окислов железа в сырую торфяную массу приводит к уменьшению гидравлического радиуса пор и соответственному повышению капиллярного давления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Ребиндер. Проблемы физико-химической механики волокнистых и пористых дисперсных структур и материалов. Изд. «Зинатне», Рига, 1967.
2. М. П. Воларович, Н. В. Чураев. Исследование торфа при помощи радиоактивных изотопов. Изд. АН СССР, М., 1960.
3. А. В. Лыков. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. Гостехтеориздат, М.—Л., 1954.
4. Н. Н. Кулаков. Введение в физику торфа. Госэнергоиздат, М.—Л., 1947.
5. Справочник по торфу. Госэнергоиздат, М.—Л., 1954.
6. С. С. Корчунов. Исследование физико-механических свойств торфа. Госэнергоиздат, М.—Л., 1953.
7. Е. П. Семеновский. Технический анализ торфа. «Недра», М., 1966.
8. А. И. Федотов, Н. В. Чураев, Н. С. Шабан. Сб. Проблемы физико-химической механики волокнистых и пористых дисперсных структур и материалов. Изд. «Зинатне», стр. 398, Рига, 1967.