536
Т34

ТЕПЛОФИЗИКА
И
ТЕПЛОТЕХНИКА

16

1970

536
Т34

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР

ТЕПЛОФИЗИКА
И
ТЕПЛОТЕХНИКА

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

ВЫПУСК
16

ПП

Київський
технологічний інститут
харчової промисловості
Б[illegible]
Інв 386563

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА» КИЕВ — 1970

6П2. 2
Т 34

В сборнике освещены результаты исследования механизма тепломассообмена, описаны разработанные на этой основе методы интенсификации тепломассообменных процессов в различных отраслях промышленности.

Рассчитан на научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области тепломассообмена, а также на технологов различных отраслей техники, где имеют место тепломассообменные процессы.

Редакционная коллегия:

акад. АН УССР В. И. Толубинский (отв. редактор), канд. техн. наук А. Ш. Дорфман (отв. секретарь), канд. физ.-мат. наук В. П. Дущенко, д-р техн. наук Е. П. Дыбан, чл.-корр. АН УССР О. А. Кремнев, канд. техн. наук М. М. Назарчук, канд. техн. наук А. П. Орнатский, д-р физ.-мат. наук В. А. Федосеев (зам. отв. ред.), акад. АН УССР И. Т. Швец, акад. АН УССР А. Н. Щербань, канд. техн. наук Г. М. Щеголев.

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Выпуск 16

Печатается по постановлению ученого совета Института технической теплофизики АН УССР и редакционной коллегии

Редактор *Н. В. Студенникова.* Художественный редактор *И. М. Галушко.* Оформление художника *В. М. Рымар.* Технический редактор *Н. П. Рахлина.* Корректор *Л. Т. Морозова.*

БФ 03744. Зак. № 232. Изд. № 129. Тираж 1100. Бумага № 2, 70×108 1/16. Печ. физ. листов 10. Условн. печ. листов 14. Уч.-изд. листов 14,37. Подписано к печати 2.III. 1970 г. Цена 1 руб. 44 коп.

3—3—2
189—70М

Издательство «Наукова думка», Киев, Репина, 3.

Киевская книжная типография № 5 Комитета по печати при Совете Министров УССР, Киев, Репина, 4.

светового потока, создают эффект свечения объема капель. Авторы получили хорошие результаты при добавлении в исследуемые водные и спиртовые растворы флюоресциина (химическое название — резорцинфталеин), дающего под действием ультрафиолетового света вторичное излучение в диапазоне 460—580 *ммк* [2]. На рис. 4 представлены фотографии движущихся капель, полученные с помощью описанных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубовик А. С. Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов. «Наука», М., 1964.
2. Люминесцентный анализ, под ред. М. А. Константиновой-Шлезингер. Физматгиз, М., 1961.
3. Manson et a.— Journal de la Société de Ingénieurs de l'Automobile (SIA), 1952, 25, 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ВЛАГИ, ТЕПЛА И ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ПРИ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОМ ОБЕЗВОЖИВАНИИ ДИСПЕРСНЫХ ТЕЛ

В. П. Дущенко, О. Я. Семко, Б. Г. Иваницкий, И. Т. Горбачук

(Киевский государственный педагогический институт им. А. М. Горького)

Перемещение влаги в дисперсных телах под действием постоянного электрического поля обусловливает электроосмотическую фильтрацию или их электроосмотическое осушение. Особый практический интерес представляет электроосмотическое осушение, однако его применение ограничено из-за недостаточной изученности кинетики этого явления.

Изучение данного вопроса осложняется тем, что явление электроосмоса сопровождается взаимосвязанными и взаимоналагающимися физико-химическими, структурномеханическими, электрохимическими и химическими процессами. Наличие тех или иных процессов зависит от многих факторов и в первую очередь от минералогического и гранулометрического состава дисперсной среды, природы поверхности твердой фазы и химического состава порового раствора. В связи с этим целесообразно изучать кинетику электроосмотического осушения на образцах модельных систем, химическими процессами в которых можно пренебречь. Однако даже в таких идеализированных дисперсных средах чисто электроосмотический эффект возможен только при ограниченных значениях градиента потенциала постоянного электрического поля.

При электроосмотическом осушении одновременно с переносом влаги в дисперсном теле под действием постоянного электрического поля происходит перенос тепла и электрического заряда. Перенос влаги обусловлен совокупным действием электроосмотической, диффузионной и термодиффузионной сил. Перенос тепла осуществляется как путем кондуктивной теплопроводности, так и за счет конвективного переноса жидкостью. Аналогично перенос заряда происходит путем ионной проводимости и за счет конвективного переноса зарядов жидкостью. Такие представления о электроосмотическом осушении дисперсных систем явились определяющими при выборе типичных модельных тел и разработке экспериментальной установки для исследования кинетики процесса [1].

Предложенная нами экспериментальная установка позволяет проводить измерение величины электрического тока, послойные измерения влагосодержания и получать распределения вдоль образца потенциала электрического поля и температуры при электроосмотическом обезво-

живании исследуемой системы без нарушения ее структуры. При этом предусмотрена непрерывная запись температуры, величины электрического тока и потенциала электрического поля на диаграммную ленту самопишущих электронных потенциометров ЭПП-09М2. Для анализа поля температур использованы изолированные от электрического поля медь-константановые термопары. Погрешность записи температуры составляет $\pm 0{,}1°$ С. В качестве датчиков потенциала электрического поля использованы тонкие щупы из нержавеющей стали, присоединенные к потенциометру таким образом, что при подключении к измерительной схеме прибора их потенциал оказывается ниже потенциала анода. Такая схема подключения датчиков к потенциометру ЭПП-09М2 не только удобна с точки зрения дальнейшей обработки исходных данных, но и предохраняет исследуемый образец от загрязнения продуктами возможного электролитического разложения датчиков в электрическом поле с большим градиентом потенциала.

Для послойного определения влагосодержания образца в процессе его электроосмотического обезвоживания применен метод узкого пучка γ-лучей. Методика расчета блока гаммаскопии и оценка погрешности определения влагосодержания описаны в работе [2].

В качестве источника γ-излучения использован изотоп Cs^{137} активностью 5,0 *мг · экв* Ra. Это позволило в условиях «хорошей» геометрии узкого пучка γ-лучей (расстояние между источником и детектором $l = 0{,}5$ *м*, рабочая площадь детектора γ-излучения $S_д = 2{,}5 \cdot 10^{-5}$ *м*^{2}, степень коллимации для воды $\eta_{H_2O} = 0{,}98$, для песка $\eta_{SiO_2} = 0{,}99$) и за время экспозиции $\tau = 100$ *сек* регистрировать с помощью радиометра ПП-8 («Волна») в отсутствие поглотителя $I_0 = 2{,}6 \cdot 10^5$ импульсов. Указанные параметры обеспечивают минимальную ошибку определения величины влагосодержания [2].

В связи с тем, что в опытах по электроосмотическому осушению досушка образцов исследуемых материалов до абсолютно сухого состояния затруднена, мы не могли для определения влагосодержания воспользоваться известными формулами метода узкого пучка γ-квантов [3]. Определение влагосодержания в любом j-м слое в момент времени τ проводилось по формуле

$$u_{j\tau} = K_j \ln \frac{k_j I_0}{I_{u_{j\tau}}} - \frac{\mu_{эф.ск}}{\mu_{эф.H_2O}},$$

где K_j — постоянная величина для каждого j-го слоя, определяемая по данным предварительных измерений,

$$k_j = \left(\frac{\mu_{эф.ск}}{\mu_{эф.H_2O}} + u_0\right) \frac{1}{\ln \frac{k_j I_0}{I_{u_{j0}}}};$$

$\mu_{эф.ск}$, $\mu_{эф.H_2O}$ — эффективные массовые коэффициенты поглощения соответственно скелетом твердой фазы и водой; u_0 — начальное влагосодержание, определяемое обычным методом; $I_{u_{j0}}$ — интенсивность излучения, соответствующая начальному влагосодержанию; I_0, $I_{u_{j\tau}}$ — интенсивности излучения, регистрируемого соответственно в отсутствие поглотителя и после прохождения луча через j-й слой материала в момент времени τ; k_j — степень поглощения первичного излучения стенками кюветы в j-м слое.

В качестве модельной системы выбран подвергавшийся травлению соляной кислотой и термообработке и затем тщательно отмытый в дистиллированной воде речной кварцевый песок с размерами зерен 50—

30 *мкм*, увлажненный дистиллированной водой с удельной электропроводностью порядка $10^{-4} \div 10^{-5}$ *ом*$^{-1} \cdot$ *см*$^{-1}$.

На рис. 1 представлены кривые распределения вдоль образца влагосодержания $u=f(x)$, температуры $t=f(x)$ и потенциала электрического поля $\varphi=f(x)$ в процессе электроосмотического обезвоживания квар-

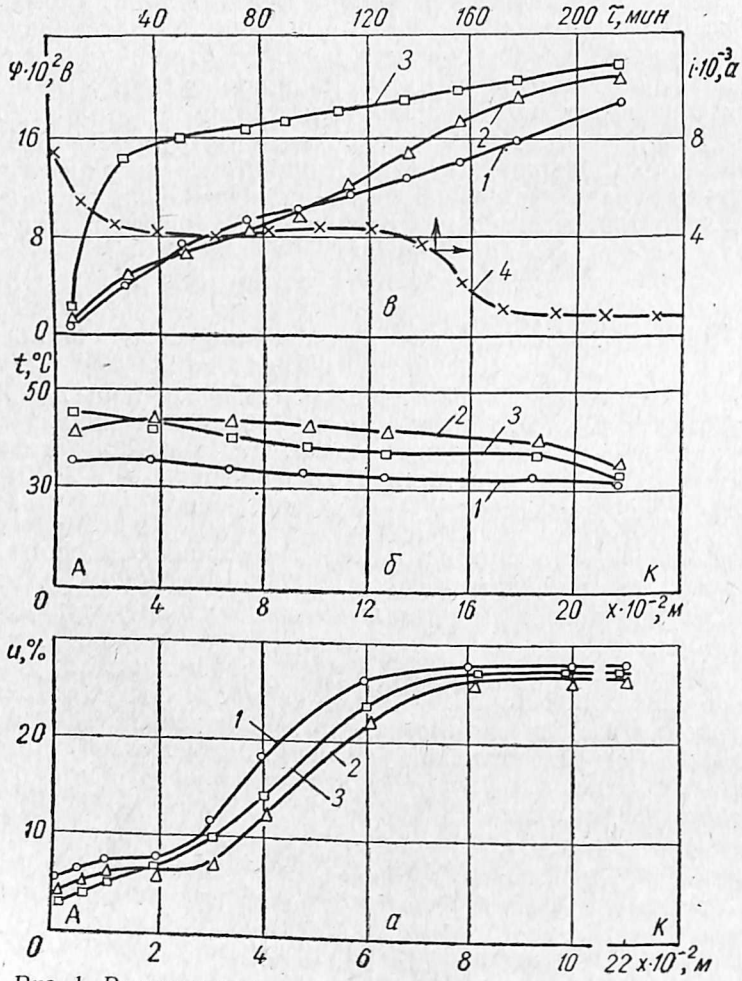


Рис. 1. Распределение влагосодержания (*а*), температуры (*б*), потенциала электрического поля (*в*) по длине образца и изменение во времени величины электрического тока (кривая *4*).

цевого песка через 30 (кривые *1*), 90 (кривые *2*) и 180 *мин* (кривые *3*) при $\text{grad}\,\varphi = 1 \cdot 10^4$ *в/м*.

Как видно из рис. 1, *а*, перенос влаги происходит от анода к катоду. В процессе обезвоживания в образце исследуемого материала четко выделяются три зоны: прианодная, переходная и прикатодная. Образование зон, особенно прианодной, подтверждается также характером хода кривой *3* ($\varphi=f(x)$) на рис. 1, *в*. Во всех зонах в конце процесса осушения влага распределяется примерно по линейному закону.

Кинетические кривые изменения влагосодержания со временем $u=f(\tau)$ в отдельных слоях образца позволяют более детально проследить специфику процесса обезвоживания каждой зоны. При этом в прианодной зоне четко различаются два периода осушения. Первый период характеризуется резким изменением влагосодержания до 6—7% от влагосодержания, соответствующего максимальной влагоемкости ($u_{max}=$

$=27\div28\%$). Этому периоду соответствует уменьшение тока в образце до определенного, длительное время остающегося постоянным значения, о чем свидетельствует ход кривой *4* ($i=f(\tau)$) на рис. 1, *в*, и рост температуры по всему образцу. При этом градиент температуры не превышает 0,25 *град/см* (см. рис. 1, *б*, кривая *1*). Во втором периоде наблюдается медленное изменение влагосодержания до 2—3%. Как в первом,

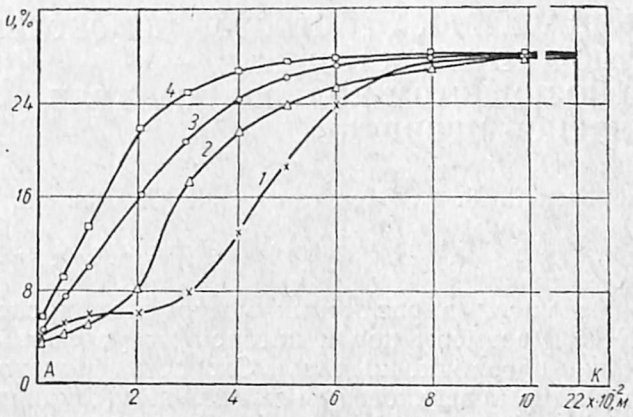


Рис. 2. Распределение влагосодержаний по длине образца при различных градиентах потенциала электрического поля:
1 — grad $\varphi=1\cdot10^4$ *в/м*; *2* — grad $\varphi=0{,}85\cdot10^4$ *в/м*; *3* — grad $\varphi=0{,}75\times10^4$ *в/м*; *4*— grad $\varphi=0{,}65\cdot10^4$ *в/м*.

так и во втором периоде осушения прианодной зоны изменение влагосодержания со временем в слоях подчиняется линейному закону.

В переходной зоне, распространяющейся примерно на одну треть образца, можно отметить перемещение влаги как вследствие электроосмотического, так и диффузионного переноса. Последний может даже превалировать, что подтверждается наличием максимумов на кривых изменения влагосодержания со временем $u=f(\tau)$ в отдельных слоях переходной зоны. Влиянием диффузионного переноса можно объяснить также возрастание влагосодержания в переходной зоне и в пограничных с ней слоях прианодной зоны после прекращения электроосмотического переноса (см. рис. 1, *а*, кривая *3* и рис. 1, *в*, кривая *4*).

В прикатодной зоне, занимающей около половины образца, влагосодержание остается практически постоянным и равным влагосодержанию, соответствующему максимальной влагоемкости исследуемого образца.

В дисперсных телах, подвергающихся воздействию постоянного электрического тока, кроме электроосмотического и диффузионного переносов не исключена возможность и термодиффузионного переноса, о чем свидетельствуют кривые $t=f(x)$, представленные на рис. 1, *б*. Некоторое увеличение градиента температуры при $\tau=180$ *мин* по сравнению с $\tau=90$ *мин* можно объяснить изменением во времени тока в образце (см. рис. 1, *в*, кривая *4*).

Электроосмотический перенос в значительной мере зависит от градиента потенциала электрического поля, подтверждением чего являются кривые распределения влагосодержания по длине образца, представленные на рис. 2. При уменьшении величины grad φ сокращается длина прианодной зоны и значительно возрастает влагосодержание в промежуточной зоне.

Анализ поля влагосодержаний $u=f(x)$ позволяет сделать вывод, что полное осушение подвергаемых воздействию постоянного электрического тока дисперсных тел может быть достигнуто путем применения эшелонированной схемы осушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дущенко В. П. и др.— В кн.: Тепло- и массоперенос, 6, 1, «Наукова думка», К., 1968.
2. Дущенко В. П., Семко О. Я.— В кн.: Тепломассообмен. «Наукова думка», К., 1968.
3. Олейников В. Н., Казанский М. Ф.— ИФЖ, 1958, 1, 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНОСА РАСТВОРОВ НЕИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОМ КОЛЛОИДНОМ ТЕЛЕ ПРИ КАПИЛЛЯРНОЙ ПРОПИТКЕ

В. Р. Боровский, В. А. Шелиманов, Л. П. Павлюк, Д. Р. Прудяк

(Институт технической теплофизики АН УССР)

Перемещение массы в различных материалах происходит по капиллярной системе, размеры пор в которой могут быть соизмеримы с радиусом действия адсорбционных сил. Скорость движения влаги в материале определяется поверхностным натяжением, смачиваемостью, величиной и свойством граничной фазы [3]. Большое влияние на эти характеристики и, следовательно, на скорость движения влаги оказывают растворенные в жидкости поверхностно-активные вещества (ПАВ).

В Институте технической теплофизики АН УССР проведены исследования влияния поверхностно-активных веществ на перенос влаги в различных материалах. В настоящей статье изложены результаты исследований одного класса ПАВ (неионогенных ПАВ — спиртов) на капиллярную пропитку.

Из спиртов были исследованы бутиловый, амиловый и гептиловый. Искусственные волокна пропитывали дистиллатом и растворами соответствующего спирта в воде. В опытах концентрация бутилового и амилового спиртов изменялась от 0,01 до 3%; гептилового спирта — от 0,01 до 0,5%.

Пропитка волокна велась следующим образом. Материал определенного веса помещали в вертикальный стеклянный цилиндр, нижний конец которого соединялся гибким шлангом с сосудом, устроенным по принципу сосуда Мариотта и заполненным пропитывающей жидкостью. В его нижней части находится цилиндрический отросток, который располагается на уровне нижнего среза образца. Пропитывающая жидкость поступает к нижней поверхности образца при постоянном давлении, равном атмосферному, и впитывается только за счет капиллярных сил. При капиллярной пропитке в начальной стадии скорость ее мало зависит от сопротивления пропитанного слоя, а также набухания и усадки материала. В этом случае между объемом впитываемой жидкости и временем пропитки существует зависимость [1]

$$v^2 = m\tau,$$

где m — темп пропитки, пропорциональный величине поверхностного натяжения к косинусу угла смачивания и обратно пропорциональный вязкости пропитывающей жидкости (с учетом ее граничной фазы); v — объем впитываемой жидкости; τ — время пропитки.

Результаты опытов представлялись в виде зависимостей $v^2 = f(c)$ при различных концентрациях спиртов и температуре раствора 20° С и $\frac{m_{ПАВ}}{m_в} = f(c)$, где $m_{ПАВ}$ — темп пропитки раствором ПАВ; $m_в$ — темп пропитки дистиллатом; c — концентрация раствора.