

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ТЕПЛОПЕРЕНОСА ВО ВЛАЖНОМ МИКРОПОРИСТОМ ТЕЛЕ

*Ровенский государственный гуманитарный университет,  
ул. Бендеры, 12, г. Ровно, 33028, Украина*

Научно-технический прогресс в различных областях техники и технологий неразрывно связан с использованием электрических полей (ЭП) высокой напряженности  $E$ . Возрастающие требования к поддержанию заданных тепловых режимов в этих условиях обуславливают расширение и углубление исследований взаимосвязанных процессов тепло – и массопереноса (ТМП) в ЭП [1].

Во влажном капиллярно-пористом теле (КПТ) вместе с переносом энергии в виде тепла происходит перенос внутренней энергии за счет массопереноса, на который в значительной мере влияет присутствие ЭП [2]. Поэтому теплопроводность во влажных КПТ, которые находятся в разнообразных ЭП должна рассматриваться в неразрывной связи с влагопереносом. Следовательно, задача определения термических коэффициентов при ТМП во влажных КПТ в условиях действия внешних ЭП имеет актуальное значение.

При наличии ТМП во влажном КПТ основной закон теплопроводности имеет вид

$$j_T = -\lambda \nabla T + \sum_i h_i j_i, \quad (1)$$

где  $j_T$  – плотность теплового потока,  $\lambda$  – истинный коэффициент теплопроводности влажного твердого скелета пористого тела,  $j_i$  – поток влаги в виде пара, жидкости или иных субстанций,  $h_i$  – удельное теплосодержание того или иного потока внутри тела. Разумеется, что определенный экспериментально коэффициент теплопроводности влажного КПТ, рассчитанный по формуле

$$\lambda_{эф} = \frac{j_T}{\nabla T}, \quad (2)$$

где  $j_T$  – определен экспериментально, дает не истинное, а эффективное его значение  $\lambda_{эф}$ . В случае аддитивности

$$\lambda_{эф} = \lambda + \lambda_{л} + \lambda_{к} + \lambda_{в} + \lambda_{п} + \lambda_{ж}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент молекулярной (атомной) теплопроводности твердого скелета КПТ,  $\lambda_{л}$  – коэффициент лучистой теплопроводности между стенками пор,  $\lambda_{к}$  – коэффициент конвективной теплопроводности газовой среды в порах,  $\lambda_{в}$ ,  $\lambda_{п}$ ,  $\lambda_{ж}$ , – соответственно, коэффициенты теплопроводности через внутривоздушный воздух, пар и жидкость (адсорбционные, смачивающие пленки, влага капиллярной конденсации в микропорах и влага капиллярных состояний в макропорах КПТ). Как известно [2], когда диаметр пор меньше  $5 \cdot 10^{-5}$  м конвективным и лучистым теплообменом при перепаде температуры между стенками пор  $\Delta T \approx 10$  К практически можно пренебречь. Таким образом, в сухом КПТ (радиусы капилляров меньше  $10^{-5}$  м) при обычных перепадах температуры передача тепла конвекцией и излучением ничтожно мала в сравнении с истинной теплопроводностью.

В микрокапиллярах коэффициент теплопроводности воздуха пропорционален давлению газа и радиусу капилляра, поэтому он не является постоянной величиной. Механизм переноса тепла в таких микрокапиллярах определяется молекулярным (кнудсенским течением). Но концентрация молекул воздуха и водяного пара в увлажненных микрокапиллярах незначительная в сравнении с количеством молекул воды в единице объема пленки адсорбционно связанной влаги. Их отношение составляет примерно  $10^{-5}$  [2, 3]. Следовательно, передача тепла в микрокапиллярах влажных КПТ в основном происходит путем молекулярной (атомной) теплопроводности через скелет тела и внутривоздушное

связанное вещество – жидкость в виде полимолекулярных пленок и столбиков капиллярно сконденсированной влаги. В макрокапиллярах не полностью увлажненных КПТ концентрация молекул возду-

ха и водяного пара, которые находятся в динамическом равновесии со смачивающими пленками воды и менисками влаги капиллярного состояния, уже значительная. Поэтому присутствие парогазовой фазы в макрокапиллярах оказывает заметное влияние на теплоперенос.

Имеется немало работ, например, [3–6], посвященных исследованию зависимости коэффициента теплопроводности от влагосодержания при определенной пористости дисперсных и полимерных тел. Во всех работах отмечено, что  $\lambda_{эф}$  в основном значительно увеличивается при уменьшении коэффициента пористости указанных тел и увеличении их влагосодержания при заданной пористости.

В неоднородном электрическом поле (НЭП) перенос влаги обусловлен действием не только сил диффузии ( $\nabla U$ ), термодиффузии ( $\nabla T$ ), но и действием движущей термодинамической силы, обусловленной НЭП ( $\nabla E$ ) и электроосмотических сил ( $\nabla \varphi$ ) [2]. В общем случае поток влаги во влагонасыщенном теле в присутствии постоянного НЭП будет в соответствии с уравнением Онзагера определяться соотношением

$$J = -\lambda_m \nabla U - \lambda_T \nabla T - \lambda_e \nabla E - \lambda_{eo} \nabla \varphi. \quad (4)$$

Таким образом, на величину  $\lambda_{эф}$  влажного пористого тела существенным образом влияют градиенты влагосодержания  $U$ , температуры  $T$ , напряженности  $E$  и потенциала  $\varphi$  ЭП. Поэтому в выражение (3), в случае действия во влажном микропористом теле ЭП, как дополнительные члены должны входить термоградиентный коэффициент теплопроводности  $\lambda_T$ , обусловленный термодиффузией влаги, коэффициент электровлагодиффузионной теплопроводности  $\lambda_{эвт}$  и коэффициент электроосмотической теплопроводности  $\lambda_{эот}$ . Тогда при условии аддитивности величина  $\lambda_{эф}$  в случае действия ЭП на влажное тело, когда в нем присутствуют микро- и макропоры, определяется выражением

$$\lambda_{эф} = \lambda + \lambda_{пр} + \lambda_{к} + \lambda_{пв} + \lambda_{п} + \lambda_{р} + \lambda_T + \lambda_{эвт} + \lambda_{эот}. \quad (5)$$

$$K_{\lambda_{ЭП}} = \frac{\lambda_{эф} - \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}. \quad (6)$$

Согласно [3], величину  $K_{\lambda_{ЭП}}$  можно назвать критерием теплопроводности влажных тел, находящихся в ЭП.

Направление перемещения жидкости в влагонасыщенном КПП под действием приложенной постоянной разности потенциалов (электроосмос) изучен достаточно полно. Согласно уравнению Гельмгольца-Смолуховского скорость движения жидкости через пористую мембрану равна

$$U_0 = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\xi}{\eta} E. \quad (7)$$

где  $U_0$  – линейная скорость электроосмотического течения жидкости;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость воды;  $\xi$  – электрокинетический потенциал;  $\eta$  – вязкость воды;  $E$  – напряженность электрического поля.

При неполном влагонасыщении КПП (влагосодержание меньше максимального гигроскопического) на влагоперенос в постоянном, а тем более в переменном невысокой частоты, ЭП в основном влияет НЭП. Это влияние распространяется на отдельные дипольные молекулы водяного пара, дискретные пленки воды на поверхности микро- и макрокапилляров и образования (столбики) объемного конденсата в микрокапиллярах или воды капиллярного состояния в макрокапиллярах. В первом случае скорость перемещения молекул прямопропорциональна  $\nabla E$ , в другом –  $E \nabla(E)$  [7, 8].

Таким образом, на процесс теплопереноса в достаточно влажном микропористом теле влияют постоянные однородные и неоднородные ЭП. В переменном ЭП невысокой частоты такое влияние может оказывать только НЭП [9]. В грубодисперсных телах (диаметр макропор больше  $10^{-5}$  м) должна проявляться дополнительная интенсификация взаимосвязанного ТМП за счет явления электроконвекции водяного пара и воздуха [1]. Насколько нам известно, исследования теплопроводности во влажных КПП в условиях действия на них ЭП не проводились. Это и послужило поводом для проведения экспериментальных работ по тепло- и массопереносу во влажном силикагеле как модельном КПП [10].

Из существующих методов экспериментальных исследований  $\lambda_{эф}$  был выбран универсальный метод М. М. Бабьева [3]. В нашей модификации он является дальнейшим развитием методов определения термовлагокоэффициентов из одного и того же опыта в условиях действия внешнего ЭП.

Основной частью установки служил фторопластовый цилиндр (длиной 0,150 м, диаметром 0,025 м), который был подвешен своими концами к коромыслу аналитических весов АДВ-200. Расстояние между точками подвеса, равное 0,140 м, точно соответствовало расстоянию между призмами коромысла весов. Часть цилиндра (0,115 м по длине) была залита парафином (эталонным мате-

риалом), а другая часть (0,035 м) заполнялась исследуемым материалом. Парафин обеспечивал влагоизоляцию одного конца исследуемого материала. Второй конец материала (торец цилиндра) закрывался диском из медной фольги толщиной 0,0001 м и диаметром 0,050 м. Медный диск обеспечивал надежную влагоизоляцию. Вместе с тем, он служил электродом и выравнивал температуру по сечению цилиндра, предотвращая проникновение инфракрасных лучей в торец цилиндра, который нагревался лучистым потоком от лампы инфракрасного излучения. Вторым электродом служил тонкий медный провод, пропущенный по оси цилиндра через парафин. Он заканчивался на границе между парафином и образцом. Температура измерялась термопарами в специальных точках: 1) в плоскости соприкосновения медного диска и исследуемого материала, то есть на внутренней поверхности диска  $T_1$ ; 2) в середине слоя исследуемого материала  $T_m$ ; 3) в плоскости контакта материала и парафина  $T_2$ ; 4) в парафине на расстоянии 0,02 м от второго торца цилиндра  $T_0$ . Для защиты цилиндра от влияния потоков воздуха он помещался в специальный термостат. Опыт осуществлялся так: свободный от парафина конец цилиндра заполнялся силикагелем с известным влагосодержанием, а потом закрывался диском, места соединения дополнительно покрывались специальным термостойким и гидрофобным лаком. После уравнивания цилиндра включался источник постоянного напряжения и лампа инфракрасного излучения и синхронно регистрировалось время электронным секундомером. Потом с помощью показаний термопар регистрировалась разность температур ( $T_1 - T_0$ ) и ( $T_2 - T_0$ ).

Имея эти данные, можно рассчитать коэффициент  $\lambda_{эф}$  по формуле

$$\lambda_{эф} = \lambda_e \left( \frac{1-h}{1+h} \right) \sqrt{\frac{a}{a_e}}, \quad (8)$$

где индекс “e” относится к эталону (парафину);  $a$  и  $a_e$  - коэффициенты температуропроводности образца и эталона (в английской и американской литературе они называются коэффициентами диффузии тепла (thermal diffusivity), а в немецкой литературе - коэффициентами температуропроводности (temperaturleitzaal));  $h$  - вспомогательный параметр, который определяется формулой

$$h = \frac{\text{ierfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo}} - 0,5642 \frac{N_1}{N_2}}{\text{ierfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo}} - \frac{N_1}{N_2} \text{ierfc} \frac{1}{\sqrt{Fo}}}, \quad (9)$$

где  $N_1 / N_2$  - отношение показаний гальванометра для термопар 1 и 2 в промежутке времени  $\tau_1$ ;  $Fo$  - критерий Фурье для данного промежутка времени  $\tau_1$  и

$$\text{ierfc}x = \int_x^{\infty} \text{erfc}\xi d\xi = \frac{1}{\pi} e^{-x^2} - x \text{erfc}x. \quad (10)$$

Полученные термические коэффициенты относились к средней температуре тела и к среднему градиенту ЭП.

Следует отметить, что измерение температуры в материале проводилось термопарами с соблюдением рекомендаций, приведенных в [9]: термопары были укороченными, малого диаметра, во время наложения ЭП отключались от гальванометра, измерение температуры материала проводилось при отключенном ЭП.

В качестве объекта исследования использовался порошок промышленного адсорбента – силикагель КСМ-5 с эффективным диаметром почти сферических зерен  $d = 0,5$  мм. Для удаления возможных органических примесей силикагель прожаривался в электрической тигельной печи при 773 К на протяжении 3 часов. Потом образец промывался дистиллированной водой. Перед всеми опытами силикагель сушился в сушильном термостате при 393 К на протяжении 10 часов до постоянного веса. Влагосодержание таким образом высушенного силикагеля при теплофизических опытах полагается равным нулю. Определение адсорбционно и капиллярно связанной с силикагелем влаги осуществлялось на сорбционных вакуумных весах [8]. Величины влагосодержаний  $U$  макрокапиллярной (межзерновой) влаги - стыкового, канатного и капиллярного состояний определялись по термограммам сушки [2]. Механическим встряхиванием достигалось максимальное уплотнение и можно считать, что упаковка частиц была гексагональной. Согласно [2, 3], слой таких зерен можно считать грубопористой системой с однородным составом, хоть и со сравнительно сложным профилем макрокапилляров. Такая система все же является наиболее простой моделью реальных макропористых тел, на основе которой можно осуществлять расчеты термических коэффициентов влажных и сравнивать их с экспериментальными. Размеры микропор в гранулах силикагеля КСМ -5, составляют 13 Å [7].

Опытные данные относились снимались при температуре образца  $T_m = 305$  К при  $\nabla T = 570$  К/м.

Погрешность определения градиентов напряженности поля составляла 3–5%. В самом худшем случае (в передпробойной области значений  $E$ ) погрешность экспериментов не превышала 15% для доверительной вероятности 0,95 при коэффициенте Стьюдента 4,3, что полностью соответствует практике теплофизических измерений.

Из рисунка следует, что коэффициент  $\lambda_{эф}$  увеличивается с увеличением влагосодержания силикагеля, но характер этого увеличения различный для фазных градиентов поля. Пунктирными линиями отмеченные границы различных форм связи влаги в микрокапиллярах: МА – максимальное количество адсорбционно связанной влаги, МГ – максимальное гигроскопическое влагосодержание, а также различные состояния воды в макрокапиллярах: СТ – стыковое, КН – канатное и КП – капиллярное. Кривая 1 зависимости  $\lambda_{эф}(U)$  получена без наложения ЭП аналогична кривым для силикагеля других марок [2, 3]. При малых влагосодержаниях, то есть в области  $0 < U \leq U_{МА}$  (физико-химическая связь влаги), коэффициент  $\lambda_{эф}$  увеличивается достаточно медленно, что свидетельствует о малой интенсификации теплопереноса за счет молекулярной теплопроводности пленки адсорбированной влаги и паровой фазы над ней, поскольку подвижность адсорбированных молекул незначительна вследствие большой энергии связи с адсорбционными центрами силикагеля, а концентрация молекул водяного пара в микрокапиллярах незначительна. В связи с малостью толщины полимолекулярно адсорбированной пленки ( $10^{-9}$  м) интенсивность термокапиллярного потока в ней также незначительна. С переходом в область влагосодержаний капиллярно-сконденсированной влаги  $U_{МА} < U \leq U_{МГ}$  наблюдается сравнительно резкое увеличение теплопроводности. Это объясняется существенным уменьшением энергии связи капиллярно удерживаемой влаги (физико-механическая связь влаги) и, естественно, увеличением подвижности как отдельных молекул воды, так и отдельных столбиков капиллярного конденсата. Первое явление увеличивает молекулярную теплопроводность, а второе вызывает дополнительный, значительно больший перенос теплоты за счет молярного термоградиентного движения влаги. Это движение обусловлено изменением капиллярного потенциала с ростом температуры, поскольку коэффициент поверхностного натяжения с повышением температуры уменьшается. Движение жидкости в пористом теле по направлению потока тепла также осуществляется за счет расширения защемленного между столбиками воды газов воздуха и водяного пара. При повышении температуры давление защемленной паровоздушной смеси увеличивается и пузырьки расширяясь проталкивают жидкость в направлении потока тепла.

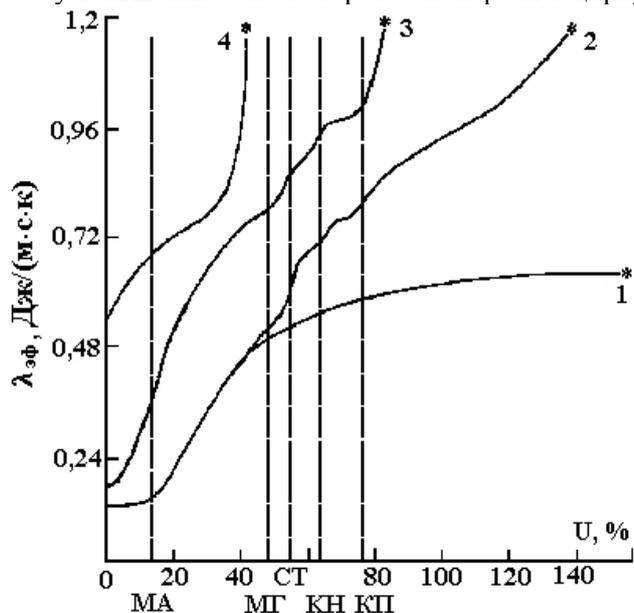
С завершением капиллярной конденсации пары в микропорах ( $U = U_{МГ}$ ) столбики капиллярного конденсата сливаются и поверхность зерен силикагеля представляет собой мозаичную картину чередования островков практически свободной воды (заполненные устья микрокапилляров) и пленок полимолекулярно адсорбированной влаги между ними. Но поскольку после слияния столбиков жидкости остается лишь процесс молекулярной теплопередачи, а термоосмотический перенос пристеночной влаги в микрокапиллярах осуществляется в направлении градиента температуры, то темп роста  $\lambda_{эф}$  спадает при приближении к  $U_{МГ}$ .

Концентрация водяного пара при  $U > U_{МГ}$  в межзерновом пространстве уже будет значительной, ибо ее давление практически будет равно давлению насыщенного пара над свободной поверхностью воды при данной температуре. Разумеется, что макропоры межзернового пространства будут заполнены паровоздушной смесью, давление которой будет равно атмосферному. Количество молекул воздуха будет уже значительно превосходящим. Это приводит к дальнейшему возрастанию теплопереноса за счет молекулярной теплопроводности парогазовой среды и молярной термодиффузии газовой смеси, что приводит к циркуляции пара и газа в такой замкнутой системе макропор, что стимулирует значительный отвод тепла от нагретой поверхности.

С последующим увеличением влагосодержания возникают и утолщаются вокруг мест контакта зерен скопления жидкости, которые имеют вид вогнутой линзы (жидкостная манжета или стыковая влага). Их термическое сопротивление меньше, чем силикагеля. Поэтому они становятся дополнительными тепловыми мостиками между зернами вследствие увеличения площади соприкосновения их между собой. Тем не менее объем парогазовой фазы в макропорах (капиллярно-разобщенное состояние или состояние защемленной жидкости) уменьшается, а, следовательно, уменьшается циркуляция паровоздушной среды и поэтому интенсивность роста  $\lambda_{эф}$  замедляется.

С переходом от стыкового в канатное состояние, когда смачивающие пленки влаги достигают макроскопических толщин и они сплошь покрывают всю внутреннюю поверхность макропор (состояние защемленного воздуха) происходит дальнейшее увеличение  $\lambda_{эф}$  не только вследствие их более значительной молекулярной теплопроводности в сравнении с сухим силикагелем, но и за счет термокапиллярного потока в смачивающих пленках против градиента температуры. Тем не менее наблю-

дается дальнейшее падение скорости возрастания величины  $\lambda_{эф}$ , по-видимому, вследствие значительного уменьшения объема парогазовой фазы и циркуляции ее компонентов.



*Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности  $\lambda_{эф}$  от влагосодержания  $U$  силикагеля КСМ-5 для средней температуры 305 К и различных градиентов постоянного электрического поля,  $V/m^2$ : 1 – 0; 2 –  $1,3 \cdot 10^5$ ; 3 –  $8 \cdot 10^7$ ; 4 –  $5 \cdot 10^9$ .*

В начале возникновения капиллярного состояния (отдельные разъединенные паровоздушными пузырьками столбики жидкости)  $\lambda_{эф}$  увеличивается как вследствие возрастания молекулярной теплопроводности, ибо жидкость находится в растянтом состоянии между двумя менисками, так и за счет молярного термоградиентного перемещения столбиков нагретой жидкости с изменением разности капиллярных потенциалов на их концах, которые находятся при различных температурах. К

более холодному концу пористого тела отдельные столбики также проталкиваются и при расширении пузырьков, в которых происходит циркуляция газов паровоздушной смеси и термоградиентное перетекание жидкости по смачивающей пленке между двумя соседними столбиками воды. Но поскольку количество защемленного между столбиками жидкости влажного воздуха по мере увеличения влагосодержания уменьшается, то темп роста  $\lambda_{эф}$  продолжает падать, хотя при слиянии столбиков в области  $U > 82\%$  величина  $\lambda_{эф}$  превышает теплопроводность свободной дистиллированной воды.

Следовательно, проявляются и другие механизмы теплопроводности. В частности в микро- и макропорах полностью увлажненного образца находиться не чистая вода, а электролит вследствие привнесения ионов из окружающей образец среды, а, главным образом, за счет растворения вещества контактирующего с водой поверхностного слоя силикагеля [11]. Поэтому возникает дополнительный перенос тепла в растворах (термодиффузия растворенных веществ в классическом понимании Максвелла-Чепмана). Это вызвано взаимодействием растворенных частиц с молекулами растворителя. Исходя из феноменологических представлений Л.Д.Ландау и Е.Н.Лифшиц [12] получили выражение для плотности потока тепла

$$q = \left[ k_T \left( \frac{\partial \mu}{\partial c} \right)_{p,T} - T \left( \frac{\partial \mu}{\partial T} \right)_{p,c} + \mu \right] i - \chi \nabla T, \quad (11)$$

где

$$i = -\rho D \left( \nabla c + \frac{k_T}{T} \nabla T \right) \quad (12)$$

диффузионный поток растворенного вещества. В закрытых капиллярах при наличии температурного градиента может иметь место циркуляция жидкости по той же схеме, как и в случае теплового скольжения газа. Вблизи стенок жидкость движется в сторону горячего конца, а в центре – в обратную сторону, отводя нагретую жидкость к холодному концу [2,3].

Влияние наложенного НЭП со сравнительно незначительным градиентом ( $\nabla E = 1,3 \cdot 10^5 \text{ В/м}^2$ ) заметно начинает сказываться лишь при подходе к влагосодержанию стыкового состояния. При образовании достаточно толстых водных манжет наблюдается если и не прыжок, то определенный перелом в ходе кривой зависимости  $\lambda_{эф}(U)$  (кривая 2). Это объясняется уменьшением термического сопротивления влажной дисперсной системы за счет перемещения воды в границах жидкостной манжеты под действием пондеромоторных сил в сторону возрастающих значений  $\nabla E^2$  ЭП [7], то есть по направлению теплового потока. С переходом в область канатного состояния влаги подобное пленочное течение возникает по всей внутренней поверхности макропор и потому возникает очередное, более четко выраженное изменение величины  $\lambda_{эф}$ . Еще более резкий прыжок величины  $\lambda_{эф}$  имеет место при переходе в капиллярное состояние влаги, когда в пондеромоторном движении в направле-

нии противоположном  $\nabla T$  образуются объемные, разобщенные столбики жидкости, переносящие с собою теплоту.

Увеличение  $U$  свыше  $U_{КП}$  приводит к постепенному слиянию разъединенных столбиков жидкости, а следовательно, к замыканию каналами влаги электродов. В результате возникает электроосмотический перенос влаги. При дальнейшем увеличении  $U$  все большее количество каналов воды подключается к электродам и все большее количество тепла переносится при электроосмотическом течении влаги. Поэтому  $\lambda_{эф}$  почти линейно возрастает с увеличением  $U > U_{КП}$ ; джоулево тепло, которое выделяется в процессе электроосмоса, в связи с малостью величины тока ( $0 < I < 10$  мкА), заметным образом не влияло на разность температур в образце. Последнее проверялось специальными опытами. При достижении  $I = 10$  мкА автоматическая защита маломощного источника высокого напряжения "Разряд-1" отключала наложенное ЭП. Эта процедура отмечена звездочкой в конце кривых  $\lambda_{эф}(U)$ .

Таким образом, сингулярные точки на кривой  $\lambda_{эф}(U)$  при наложении НЭП достаточно надежно фиксируют влагосодержание, которое отвечает различным формам связи и состояниям влаги в микро- и макропорах силикагеля.

Дальнейшее увеличение напряжения на образце при  $U \geq 0$  приводит к стремительному росту  $\nabla E$  и как видно из рис. 1 кривые  $\lambda_{эф}(U)$  размещаются все выше. Величине  $\nabla E = 5 \cdot 10^9$  В/м<sup>2</sup> отвечает предпробойное напряжение, когда даже в сравнительно сухом образце возникают частичные разряды, которые существенным образом интенсифицируют теплоперенос в капиллярно-пористом теле. Это обусловлено возникновением ударных волн, которые ионизируют и турбулизируют паровоздушную смесь в макропорах. В результате парогазовая фаза приходит в молярное движение и легче проталкивается через сужение макропор в направлении теплового потока, поскольку при наличии свободных зарядов кулоновские силы, которые действуют на единицу заряженного объема парогазовой смеси на несколько порядков превышают пондеромоторные, действующие на единичный объем незаряженного диэлектрика.

Таким образом, приведенные теоретические соображения и экспериментальные данные несомненно свидетельствуют об интенсификации теплопереноса во влажном капиллярно-пористом теле при наложении внешних неоднородных и однородных электрических полей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Болога М.К., Смирнов Г.Ф., Дидковский А.Б., Климов С.М.* Теплообмен при кипении и конденсации в электрическом поле. Кишинев, 1987.
2. *Лыков А.В.* Теория сушки. М., 1968.
3. *Лыков А.В.* Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М., 1954.
4. *Чудновский А.Ф.* Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М., 1962.
5. *Кобранова В.Н.* Физические свойства горных пород. М., 1962.
6. *Филлипов П.И., Тимофеев А.М.* Методы определения теплофизических свойств твердых тел. Новосибирск, 1977.
7. *Панченко М.С.* Повышение эффективности процесса сушки при использовании неоднородных электрических и магнитных полей // Электронная обработка материалов. 1980. № 3. С. 42–47.
8. *Панченко І.М.* Вплив електричних полів на вологообмінні процеси в металонаповнених гнучколанцюгових полімерах: Дис. канд. фіз.-мат. наук. Рівне, 1998.
9. *Мустяцэ В.Т.* Тепло- и массообмен во влажных материалах в электрических полях высокой частоты: Автореф. дисс. доктора техн. наук. Кишинев, 1985.
10. *Лыков А.В.* Тепломассообмен (Справочник). М., 1971.
11. *Соболев В.Д., Сергеева И.П., Чураев Н.В.* Экспериментальные исследования электрокинетических явлений в тонких капиллярах: Тезисы докладов на VII конференции по поверхностным силам. М., 1980.
12. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Гидродинамика. М., 1986.

Поступила 15.05.2001

## Summary

On an example of industrial adsorbent silicagel KSM, which is typical synthetic inorganic polymer, by practical consideration shown, that the constant non-uniform electrical field essentially intensifies process of transposition of heat in a broad interval of moisturecontains including hygroscopic and moisture conditions.