

ПОТЕНЦИАЛ ПЕРЕНОСА ВЛАГИ В НЕКОТОРЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Л. Г. ПОЛОЗОВА,

кандидат географических наук

Усовершенствование методов расчета влажностного режима ограждающих конструкций тесно связано с необходимостью решения вопроса о выражении процессов переноса влаги в строительных материалах при помощи математических уравнений, аналогичных уравнениям переноса тепла. Для выполнения этой задачи требуется, в частности, введение единой шкалы измерения влажности различных тел, т. е. выражение их влажности через влажность какого-либо эталонного тела, подобно тому как температуру различных тел определяют по изменению одного из физических свойств эталонного термометрического вещества, пользуясь установленной шкалой.

Температура является потенциалом переноса тепла; понятие о потенциале переноса вещества до сих пор не было введено в практику из-за отсутствия соответствующих исследований по термодинамике влагопереноса. В последние годы А. В. Лыковым [1,2] сделана попытка решения проблемы переноса влаги во влажных капиллярно-пористых телах (преимущественно пищевых продуктах) и ее строгого термодинамического обоснования на основе аналогии между математическим выражением процессов переноса тепла и вещества.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное определение потенциала переноса влаги в некоторых строительных материалах на основе разработанных А. В. Лыковым положений о влагопереносе в капиллярно-пористых телах; суть этих положений вкратце сводится к следующему.

Кинетика переноса влаги во влажном теле или системе плотно соприкасающихся тел определяется разностью потенциалов переноса этой влаги. При установившемся термодинамическом равновесии на границе соприкосновения тел с различной влажностью наблюдается скачок влагосодержания, но одинаковый потенциал переноса влаги, подобно тому как при соприкосновении двух твердых тел с одинаковой температурой (например свинец и алюминий) имеет место скачок теплосодержания.

Если влага в теле находится в жидком состоянии, то потенциалом ее переноса является потенциальная энергия поля капиллярных сил, отнесенная к единице массы жидкости; при парообразном состоянии влаги в теле потенциалом ее переноса является потенциальная энергия поля парциального давления. В общем случае, когда влага в теле находится в жидкой и парообразной фазах, потенциал переноса влаги является функцией влагосодержания и внешних параметров (температуры и барометрического давления*), которые в состоянии термодинамического равновесия должны быть одинаковы во всех частях рассматриваемого тела или системы тел.

* Изменения барометрического давления при естественной сушке или увлажнении строительных материалов крайне незначительны, в связи с чем этот параметр в дальнейшем рассмотрении не принимается во внимание.

Влагосодержание тела, так же как теплосодержание, не является потенциалом переноса влаги. Если по аналогии с удельной теплоемкостью ввести понятие удельной влагоемкости (e), то эта величина будет являться частной производной от удельного влагосодержания (U) по потенциалу (Θ) при постоянном внешнем параметре (температура), т. е.

$$e = \left(\frac{\partial U}{\partial \Theta} \right)_T, \quad (1)$$

при этом e имеет размерность кг/кг ед. пот., а шкала потенциала вещества будет аналогичной шкале температуры в области ее положительных значений.

Единая шкала потенциала переноса влаги как в жидком, так и в парообразном состояниях устанавливается по уравнению (1) для эталонного тела, величина удельного влагосодержания которого может быть определена экспериментальным путем, величина же удельной влагоемкости — выбрана из соображений удобства.

В качестве эталонного тела А. В. Лыковым предложена целлюлоза (в виде листов фильтровальной бумаги), которая имеет большую гигроскопичность и обладает всеми основными формами связи влаги с материалом, особенно физико-механической, что является существенно необходимым при выборе эталонного тела.

Если удельную влагоемкость эталона принять равной 1/100 максимального сорбционного влагосодержания, то удельному влагосодержанию эталона будет соответствовать потенциал в 100 единиц.

Такой выбор удельной влагоемкости обусловлен следующими соображениями:

1) максимальное гигроскопическое влагосодержание есть величина постоянная для данного тела, не зависящая от способа ее достижения (изотермы сорбции и десорбции при $\varphi = 100\%$ совпадают);

2) при использовании различных эталонных тел (разные сорта бумаги) в точке максимальной гигроскопичности всегда будет один и тот же потенциал, равный 100 единицам, благодаря чему вводится единая шкала потенциала.

На основании вышесказанного изотермический потенциал переноса влаги Θ будет равен

$$\Theta = \frac{U_{\text{э}}}{e_{\text{э}}} = \frac{100 U_{\text{э}}}{U_{\text{эмг}}}. \quad (2)$$

Таким образом, потенциал переноса влаги определяется по удельному влагосодержанию эталонного тела ($U_{\text{э}}$), для которого удельная изотермическая влагоемкость ($e_{\text{э}}$) принимается равной 0,01 его максимального гигроскопического влагосодержания ($U_{\text{эмг}}$).

Удельная и изотермическая влагоемкость (e) любого материала численно равна частной производной удельного массосодержания по потенциалу переноса влаги и приближенно может быть определена по тангенсу угла наклона касательной к экспериментальной кривой зависимости $\Theta = f(U)$.

В излагаемой работе определение потенциала переноса влаги производилось для следующих четырех видов местных строительных материалов:

а) пенобетон на кукуермите гидравлическом (пенокукуермит) с добавкой песка (1 : 1), запаренный в автоклаве, $\gamma_{\text{с}} = 900 \text{ кг/м}^3$;

б) пенобетон из известково-песчаной смеси (пеносиликат), изготовленный дезинтеграторным методом и запаренный в автоклаве, $\gamma_{\text{с}} = 900 \text{ кг/м}^3$;

в) тяжелый сланцезольный бетон на известняковом щебне, $\gamma_C = 2200 \text{ кг/м}^3$;

г) бетон известково-песчаный (силикат), $\gamma_C = 1600 \text{ кг/м}^3$.

Зависимость между влагосодержанием образцов исследуемых материалов и эталона определяется путем их плотного соприкосновения и выдерживания в этом состоянии при изотермических условиях до установления гигрометрического равновесия. При проведении опытов образцы исследуемых материалов в виде цилиндров диаметром 4 см и высотой около 1 см помещались в алюминиевые боксы, наполовину наполненные листами фильтровальной бумаги. Боксы закрывались крышками, под которыми для обеспечения надежного контакта между образцом и эталоном помещался слой упругой резины. Места соединения бокса и крышки тщательно влагоизолировались толстым слоем пластилина. Надежность влагоизоляции периодически проверялась взвешиванием боксов.

Опыт проводился одновременно на нескольких образцах одного материала при различной влажности эталона и постоянной температуре окружающего воздуха ($t = 18 \pm 1^\circ$).

По достижении образцами и эталоном гигрометрического равновесия (что проверялось на контрольных образцах), они высушивались и определялась влажность того и другого.

Длительность опытов по определению потенциала переноса влаги составляла в среднем 1,5—2 месяца. Было проведено несколько серий опытов (основные, дополнительные и контрольные), результаты которых графически представлены на рис. 1 (а, б, в, г). Как видно из рисунков, кривые зависимости между влагосодержанием материала и эталона

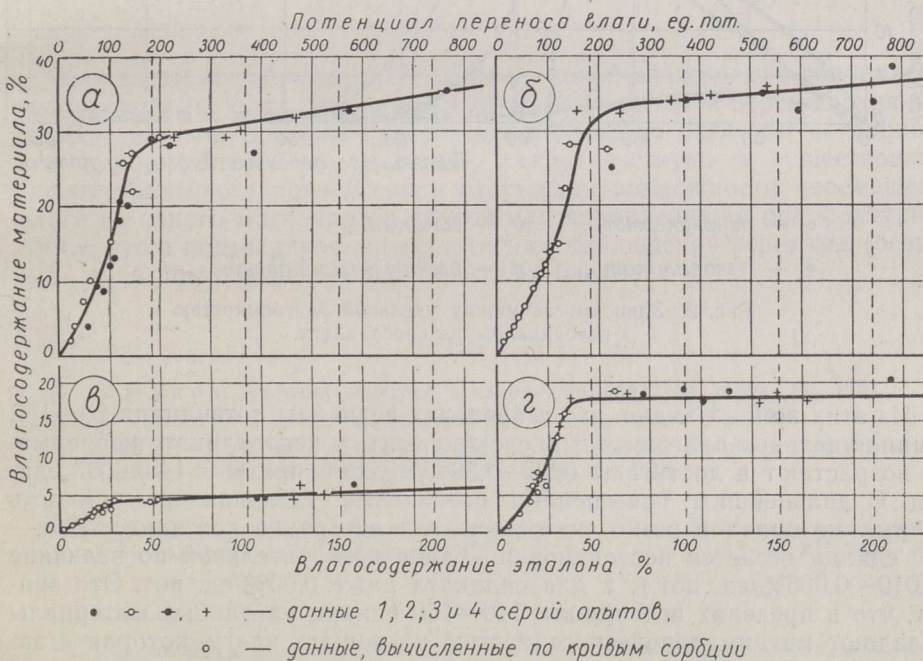


Рис. 1. Зависимость между влагосодержанием строительных материалов и потенциалом переноса влаги для: а — пенокукермита; б — пеносиликата; в — сланцезольного бетона; г — силиката.

имеют идентичный ход для всех исследуемых материалов: с ростом влагосодержания эталона интенсивно возрастает и влагосодержание материалов; при увеличении влагосодержания эталона свыше 40—50% интенсивность возрастания влагосодержания материалов резко падает (точки перегиба кривых) и в дальнейшем остается незначительной. Такая форма кривых может иметь следующее объяснение: точки перегиба кривых соответствуют пределу наиболее интенсивного заполнения пор и капилляров влагой. При дальнейшем увлажнении эталона, происходящем еще с достаточной интенсивностью ввиду его волокнистой структуры, заполнение оставшихся более крупных пор в материалах происходит крайне медленно и влагосодержание возрастает незначительно или даже остается постоянным, — например, в силикате, где полное заполнение пор происходит, по-видимому, уже при 40% влагосодержания эталона.

На основании полученных данных по формуле (2) была вычислена и величина потенциала переноса влаги в рассматриваемых материалах при различной их влажности. Эти данные также использованы при построении рис. 1.

По графикам рис. 1 (а, б, в, г) была определена величина удельной влагоемкости исследуемых материалов (e). Результаты вычислений представлены в виде графиков $e = f(\Theta)$ на рис. 2.

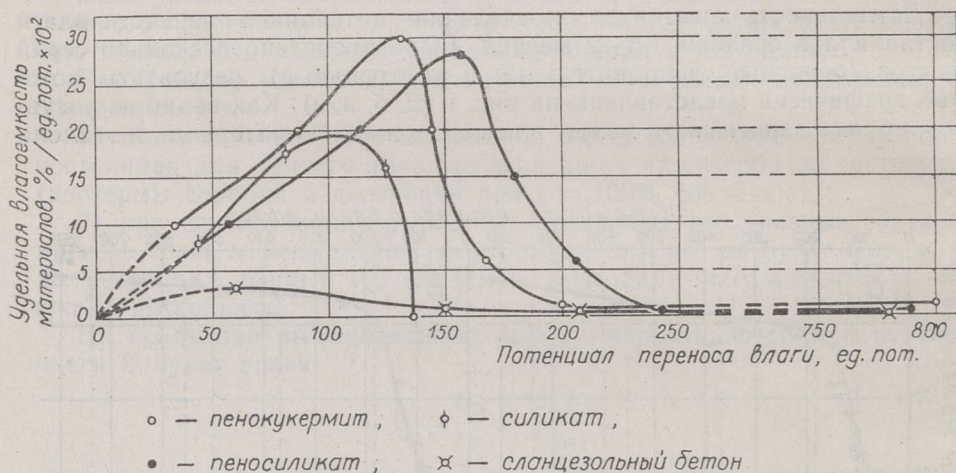


Рис. 2. Зависимость между удельной влагоемкостью и потенциалом переноса влаги.

Из этих кривых видно, что в пределах величины потенциала 20—150 единиц удельные влагоемкости пенокукермита и пеносиликата непрерывно возрастают и достигают 0,28—0,30%/ед. пот. при $\Theta = 140—167$ единиц. С дальнейшим повышением потенциала удельная влагоемкость данных материалов резко снижается и в интервале потенциала 200—800 единиц остается постоянной и крайне незначительной по величине (0,010—0,005%/ед. пот.), а для силиката даже 0,00%/ед. пот. Это значит, что в пределах потенциала 140—160 единиц указанные материалы обладают максимальной способностью поглощать влагу, которая и заполняет подавляющее количество пор и капилляров; в связи с этим при дальнейшем росте потенциала (200—800 единиц) способность материалов поглощать влагу резко снижается.

С уменьшением пористости материалов уменьшается и их влагоем-

кость. Так, для силиката ($\gamma_c = 1600 \text{ кг/м}^3$) максимальная влажность составляет 0,16%/ед. пот. при $\Theta = 100$ ед. пот., а для тяжелого бетона ($\gamma_c = 2200 \text{ кг/м}^3$) — всего 0,03%/ед. пот. при $\Theta = 60$ ед. пот.

Имея данные о потенциале переноса влаги и влагоемкости материалов, легко определить направление и количество перемещающейся влаги, например, в пенобетонном блоке с фактурным слоем из тяжелого бетона, при любой влажности составляющих блок материалов.

В качестве примера использования потенциала переноса влаги для оценки влажностного состояния материалов в нижеследующей таблице приведены и обработаны данные натуральных исследований распределения влажности в соприкасающихся слоях стеновых блоков эксплуатируемых крупноблочных зданий.*

Материал стенового блока (основной + фактурный слой)	Время наблюдения	Весовая влажность, %		Потенциал переноса влаги, ед. пот.	
		основной материал	фактурный слой	основной материал	фактурный слой
Пеносиликат + силикат	Осень 1955 г.	14,1	10,8	111	110
То же	Осень 1956 г.	14,4	9,8	112	108
Пенокукермит + тяжелый бетон	Зима 1957 г.	23,0	4,4	131	134

Как видно из таблицы, по величине весовой влажности в соприкасающихся слоях материалов нельзя судить о возможности перемещения влаги между ними. В то же время выраженные посредством потенциала, эти данные, близкие по величине, свидетельствуют о существовании гигрометрического равновесия и отсутствии возможности перемещения влаги из одного материала в другой или накопления ее под фактурным слоем, что и подтвердилось результатами наблюдений через год (осенью 1957 г.) в доме из пеносиликальцитных блоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Лыков, Явления переноса в капиллярно-пористых телах, М., 1954.
2. А. В. Лыков, Тепло- и массообмен в процессах сушки, М., 1956.
3. А. М. Шкловер, Б. Ф. Васильев, Ф. В. Ушков, Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий, М., 1956.

Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
27 XII 1957

* Данные взяты из диссертации А. Э. Алумяэ «Тепло-влажностные свойства некоторых типов крупноблочных стен из местных материалов в условиях Эстонской ССР».

MÖNINGATE EHTUSMATERJALIDE NIISKUSE-ÜLEKANDEPOTENTSIAAL

L. Polozova,
geograafiateaduste kandidaat

Resümee

Artiklis käsitletakse A. Lökovi niiskuse ülekande potentsiaali teooria põhiseisukohti ning kasutatakse neid piirdekonstruktsioonide niiskusrežiimi arvutusmeetodite täiustamiseks.

Katseliselt määrati nelja kohaliku ehitusmaterjali (liiva lisandiga hüdraulilisest kukermiidist vahtbetooni, põlevkivituhkbetooni, vahtsilikaadi ja silikaadi) niiskuse-ülekandepotentsiaali väärtused olenevalt nende materjalide niiskussisaldusest isothermilistes tingimustes. Tulemused on esitatud graafikutena.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Ehituse ja Ehitusmaterjalide Instituut

Saabus toimetusse
27. XII 1957

DAS POTENTIAL DER FEUCHTIGKEITSMIGRATION FÜR EINIGE
BAUMATERIALIEN

L. Polozowa

Zusammenfassung

Im Artikel werden die Grundlagen der Theorie von A. Lykow (Лыков) über das Potential der Feuchtigkeitsmigration dargestellt. Es werden die Resultate der experimentellen Bestimmung dieses Index für Baumaterialien angeführt, und zwar in Abhängigkeit von ihrem Feuchtigkeitsgehalt bei einer Temperatur von $20 \pm 1^\circ$. Die graphisch dargestellten Angaben beziehen sich auf vier Arten lokaler Baumaterialien (Schaumbeton und Beton mit Brennschieferasche, Leichtkalkbeton und Kalkbeton).

Institut für Bauwesen und Baumaterialien
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR

Eingegangen
am 27. Dez. 1957