

Поскольку предложенная система была смонтирована на частном подворье в Харьковской области при реконструкции коттеджа и проработала полных четыре года, то экономия топлива составила сто тысяч гривен за год.

**Выводы.** Таким образом, применение теплоэнергетической системы снабжения: электроэнергией, горячей водой и отоплением, в которой совместно с ветроэлектростанцией, обеспечивающей электроэнергией все электрооборудование, двухконтурной солнечной установкой, обеспечивающей горячее водоснабжение, геотермального грунтового теплового насоса, обеспечивающего отопление и кондиционирование, аккумуляторов электроэнергии и теплоты позволяет: уменьшить себестоимость тепловой энергии за счет снижения материалоемкости оборудования, которое используется; экономить органическое топливо; производить электроэнергию и излишек ее отдавать в электроаккумуляторы либо в государственную электросеть; уменьшить тепловую нагрузку и загрязнение окружающей среды.

#### Литература

1. Концепция государственной энергетической политики Украины на период до 2020 г. // Информационное приложение. 2001. № 10. 8 с.
2. Овчаренко В.А. Використання теплових насосів // Холод М+Т, 2006, №2 С. 34–36.
3. Конструкционные особенности увеличения эффективности работы гелиоустановок / Селихов Ю.А. и др. // Экологические технологии и ресурсосбережение. Киев: Типография НАН Украины, № 3, 2004. С. 70-75.
4. Двоконтурна геліоводонагрівна установка, Патент України, № 64198 А / Селихов Ю.А., Бухкало С.І., Селихова Н.В., Селихова Л.Ю. Бюл. № 2, 2004.
5. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1982. 224 с.

#### References

1. Contseptsiya gosudarstvennoy energetichkoj politiki Ukrainy na period do 2020 g. (2001). Informatsionnoe prilozhenie. - № 10. 8 s.
2. Ovcharenko V. A., Ovcharenko A. V. (2006). Vykoristanny teplovikh nasosiv, Kholod M+T. №2, 34-36.
3. Selikhov Yu. A., Ved V.E., Bukhhalo S. I., Kostin V. M. (2004). Construktsonnie osobennosti uvelicheniy efektyvnosti raboty gelioustanovok. Ekotekhnologii i resursosberezhenie. Kiev: Tipografia NAN Ukrainy. №3. 70-75.
4. Selikhov Yu. A., Bukhhalo S. I., Selikhova N. V., Selikhova L. Yu. Dvokonturna geliovodonagrivna ustanovka, Patent Ukrainy. № 64198 A, Byul. № 2, 2004.
5. Rey D., Makmayl D. (1982). Teplovye nasosy: Per. s angl. M.:Energoizdat., 224 s.

УДК 699.86

## ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Керш В. Я., к.т.н., проф., Колесников А. В., к.т.н, ст.преп., Гедулян С. И., к.т.н, ассистент,  
Твердохлеб С. А., аспирант

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

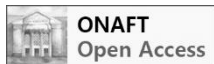
## THE PRINCIPLES OF ENERGY EFFICIENT MATERIALS STRUCTURE OPTIMUMIZATION

V. Kersh, cand. of techn. sciences, professor, A. Kolesnikov, cand. of techn. sciences, senior lecturer,  
Gedulyan S.I., cand. of techn. sciences, assistant professor, S. Tverdochleb, graduate student  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Аннотация.** В статье рассматриваются методические приемы синтеза энергоэффективных строительных композиционных материалов на основе методов теории перколяции и структурной оптимизации. Основная проблема, возникающая при проектировании материала, заключается в обеспечении требуемых теплоизоляционных свойств и прочностных характеристик. Для ее решения используется теория протекания, позволяющая определить долю теплоизоляционного заполнителя, при которой прерываются основные пути распространения тепла, и идеи структурной оптимизации, позволяющей увеличить прочность материала за счет введения структурообразующих минеральных и органических добавок. Введение активных добавок способствует частичному разрыхлению структуры и раздвижке частиц, улучшают условия гидратации вяжущего. Методические приемы, разработанные при реализации этих направлений, применимы для других задач строительного материаловедения.

**Abstract.** Methodical foundations related to the design of the energy-efficient building composite materials are considered. The main problem is to provide a heat-insulating properties and strength characteristics of appropriate

level required. The solution is based on the percolation theory, allowing to determine the proportion of thermal insulating filler to interrupt most of thermal paths, and ideas of structural optimization, allowing to increase the strength of the material due to the introduction of structure-forming mineral and organic additives. The features of the conductive properties of the composite mixture were investigated using an electrothermal analogy, according to which the thermal conductive properties of the composite mixture obey the same laws as the electrical conductivity. In the electrical modeling of conductivity in a composite material, the conductive particles of a carbon powder were the model of heat conducting components, the heat-insulating filler (perlite) was used as a dielectric component. Physical modeling made it possible to determine the concentration of the filler, at which the electrical resistance of the model mixture and the thermal resistance of the composite under study increases jumpwise. The ratio of the components of the composite material was chosen in accordance with the principle of maximizing the amount of filler and approaching the percolation threshold, while meeting the regulatory requirements for strength. The introduction of active additives promotes the partial loosening of the structure and the separation of the particles, improves the hydration conditions of the binder, and, as a result, increases the strength of the matrix material. This method allows increasing the amount of heat-insulating filler and minimizing thermal conductivity. The methodological techniques developed during the study are applicable to other materials and, in particular, to prospective materials with foamed glass filler. The method of obtaining composite materials with the optimal combination of strength and heat insulation characteristics is presented in the form of an algorithm, which simplifies its application.

**Ключевые слова:** энергоэффективные строительные композиты, перколяция, структурная оптимизация.

**Keywords:** energy-efficient building composites, percolation, structural optimization.

**Введение.** Одной из основных задач строительного материаловедения, особенно актуальной для Украины, является создание многофункциональных энергосберегающих материалов различного назначения и, в частности, утепляющих штукатурных составов. Для разработки основных принципов получения энергоэффективных строительных композитов применялись физические и математические модели и аналогии. Основным модельным материалом являлся строительный гипс, при этом учитывалась возможность дальнейшего перехода к вяжущим с лучшими прочностными характеристиками.

Характерной особенностью рассматриваемых материалов являются противоположно направленные требования и ограничения по свойствам: высокая прочность, высокая адгезионная и звукоизолирующая способность, в сочетании с низкой плотностью и теплопроводностью, невысокой стоимостью. Необходимость учета антагонистических требований к свойствам осложняет подбор составов таких композиционных материалов. Так, добавление теплоизолирующего заполнителя в композитную смесь снижает плотность и теплопроводность, но при этом уменьшаются также адгезионная и другие виды прочностей.

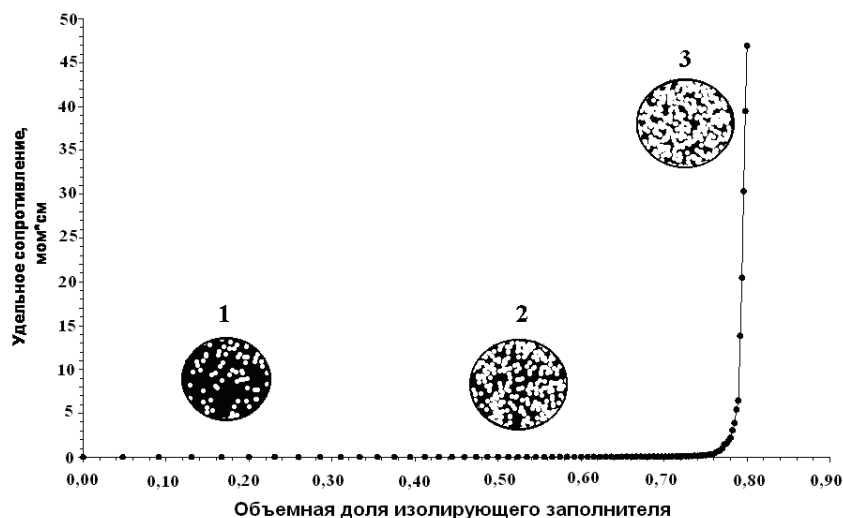
Требуемые уровни критериев качества обеспечиваются оптимальными сочетаниями компонентов смеси. Подбор этого сочетания в строительном материаловедении часто осуществляется эмпирически, с применением статистических методов и планирования эксперимента [1]. Разработка методики выбора рецептуры энергоэффективных материалов, базирующейся на результатах теории перколяции [2,3] и идеях структурной оптимизации [4,5], составляет основную задачу исследования.

**Основная часть.** Принципы формирования и оптимизации структуры теплоизоляционных материалов рассматриваются применительно к штукатурным материалам на основе гипса. В качестве основного теплоизолирующего заполнителя применялся перлитовый порошок. В качестве добавок, модифицирующих структуру материала, рассматривались микросферы [6], метакаолин, акрил-стироловый латекс.

В предварительных модельных экспериментах использовано соответствие между электрической и тепловой проводимостью. Задачей эксперимента было установление соотношения проводящей и изолирующей среды в опытных образцах, при котором материал скачкообразно изменяет свои электрические свойства (перколяционный скачок сопротивления). Используя электротепловую аналогию, можно предположить, что при соответствующих соотношениях компонентов материал из теплопроводного превращается в эффективный теплоизолятор.

В качестве изолятора применялся перлит-порошок, проводником служил мелкодисперсный угольный порошок, моделирующий сплошную среду. Исследование характера зависимости сопротивления от объемной доли вводимого изолятора позволило определить значение перколяционного порога, который для рассматриваемых материалов составил 80-85 объемных процентов изолирующего компонента (рис.1), что приближенно соответствует значениям, предсказываемым теорией перколяции [2]. Теплофизические измерения различных порошкообразных смесей, состоящих из теплопроводящих и теплоизолирующих компонентов, показали, что для теплопроводности (в отличие от электропроводности) не характерен подобный скачок. Вместо него наблюдается плавный переход в области перколяции, что объясняется сравнимыми значениями коэффициентов теплопроводности рассматриваемых компонентов [7]. Тем не менее, наличие

такого перколяционного перехода позволяет определить максимальное количество заполнителя, при котором материал становится теплоизолятором.



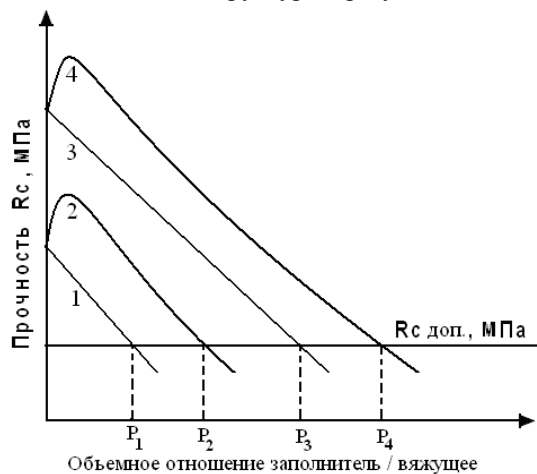
1—концентрація ізолюючих частиць (світлых) мала, условия протекания выполняются (темная среда), смесь имеет высокую электропроводность; 2—средняя (~60%) концентрация изолюючих частиц, приближение к перколяционному порогу, 3— концентрация изолюючих частиц велика, проводящие пути прерваны, проводимость смеси мала.

**Рис. 1. Перколяционный скачок проводимости в двухкомпонентной смеси «проводящая среда – изолятор».**

Основные принципы организации структуры теплоизоляционного материала таковы:

1. Теплоизолирующий заполнитель вводится в композитную смесь в максимально возможном количестве, обеспечивающем при этом нормативный уровень прочности.
2. Введение структурообразующей добавки, в частности, 5-10% микросфер, улучшает прочностные характеристики материала на 50-60% и позволяет вводить в смесь дополнительное количество теплоизолирующего компонента [8].

Логика проектирования теплоизолирующего материала схематически иллюстрируется на рис. 2.



**Рис. 2. Схема подбора рациональных соотношений «теплоизолирующий заполнитель - вяжущее».**

При введении минеральной структурирующей добавки наблюдается прирост начальной прочности материала (кривая 2). Допустимая прочность обеспечивается при большей доле заполнителя  $P_2$ , следовательно - меньшей теплопроводности состава. Переход к высокопрочному вяжущему позволяет повысить критическую концентрацию заполнителя до значения  $P_3$  (кривая 3). Максимально возможное количество заполнителя  $P_4$ , соответствующее заданной прочности, можно ввести в смесь при использовании структурообразующей добавки (кривая 4).

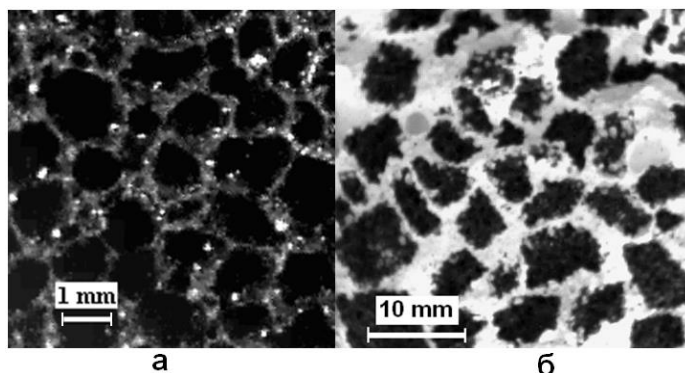
В качестве заполнителей рассматривались гранулы вспененного полистирола, пемза, топливные шлаки, вермикулит и более мелкие – перлит, известняковая мука, зола ТЭС [9]. Необходимым условием их применения являются малая плотность и теплопроводность, химическая устойчивость и экологическая

безопасность. В качестве вяжущего могут выступать как традиционные материалы – гипс, цемент, так и сложные их сочетания, например водостойкие гипсоцементнопуццолановые вяжущие [10].

Одним из компонентов, предложенным в качестве заполнителя для получения энергосберегающих композиций согласно приведенной выше методике, является измельченное пеностекло (отходы производства) – материал низкой плотности, поры которого образуют замкнутую ячеистую структуру [10] (рис.3,а).

Свойства композиционного материала, получаемого на его основе (рис. 3,б), могут быть оптимизированы в согласии с рассмотренными выше принципами.

Применение высокопрочного гипсового вяжущего позволяет увеличить объемное содержание частиц пеностекла и приблизиться к перколяционному порогу по теплопроводности, сохраняя, однако, нормативный уровень прочности. Этот эффект усиливается введением органических и минеральных добавок, влияющих, в частности, на процессы формирования границ раздела вяжущее-заполнитель [12, 13].



а – гранулированное пеностекло; б – гипсовый образец с включениями пеностекла.  
**Рис. 3. Эффективный наполнитель для энергосберегающих материалов.**

Рассмотренная методика является универсальной для синтеза энергоэффективных строительных композиций различного назначения.

**Выводы.** Экспериментально выявлена существенная роль перколяционных явлений в формировании теплоизоляционных свойств материалов. Вторым по значимости является фактор оптимальной структуры, управлять которым можно за счет введения соответствующих структурообразующих добавок. Последовательный учет и оптимизация этих двух факторов являются перспективным путем для синтеза строительных материалов с улучшенными теплозащитными свойствами и, в частности, композиционных материалов с наполнителем в виде измельченных отходов производства пеностекла. Методика получения композиционных материалов с оптимальным сочетанием прочностных и теплоизоляционных характеристик представлена в форме алгоритма, что упрощает ее применение.

#### Литература

1. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / Вознесенский В.А. и др. К.: Будівельник, 1989. - 226 с.
2. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. М.: Едиториал УРСС, 2002. 112 с.
3. Керш В.Я., Колесников А.В., Керш Д.В. Синтез гипсовых композиционных материалов на основе теории перколяции. Сухие строительные смеси, М. 2015. № 3. С. 41- 43.
4. Structurally-Oriented Design of the Heat Insulation Plastering Material / Kersh V. et.al. // No: Proceedings of RENVA Annual Conference 2015, Latvia, Rīga, 6.-9. maijs, 2015. Rīga: RTU PRESS, 2015. P. 241-244.
5. Керш В.Я., Колесников А.В., Фощ А.В. Оптимизация структуры и свойств теплоизоляционных композитов на основе их дискретных моделей // Вісник ОДАБА. 2013. № 51. С. 256-260.
6. Cenospheres. Properties and diagnostics methods / V.S. Drozhzhin et.al. // Proceedings SWEMP 2002, Cagliari, Italy. 2002. P. 1059.
7. Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders / Mamunya Y.P. et.al. // European polymer Journal. 2002. 38. P. 1887-1897.
8. Lyashenko T., Kersh V., Kersh D. Modelling the effect of composition on the properties of gypsum concrete containing cenospheres // Proc. 18 Ibausil. - Weimar (Germany), 2012. Vol. 1. P. 1-0416-0423.
9. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Справочник по строительному материаловедению. М.: Ифра-Инженерия, 2010. 472 с.
10. Статистическое исследование поровой структуры теплоизоляционных композитов / Довгань И.В. та ін. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2015. № 60. С. 86-90.
11. Керш В.Я., Колесников А.В. Физико-химические основы рационального выбора компонентов теплоизоляционного материала // Вісник ОДАБА. Одеса: «Зовнішпрекламсервіс», 2013. № 50 (1). С. 125-130.
12. Дудар І.Н. Термосилова технологія бетону. Універсум-Вінниця, 2001.45 с.

## References

1. Voznesenskiy V.A., Lyashenko T.V., Ivanov Y.P., Nikolov I.I. (1989). EVM i optimizatsiya kompozitsionnykh materialov, Kiev, Budivelnik, 226 p.
2. Tarasevich Y.Y. (2002). Perkolyatsiya: teoriya, prilozheniya, algoritmy, Moscow, Yeditorial URSS, 112 p.
3. Kersh V.Y., Kolesnikov A.V., Kersh D.V. (2015) Sintez gipsovykh kompozitnykh materialov na osnove teorii perkolyatsii, Sukhiye stroitel'nyye smesi, Moscow, 3, 41- 43.
4. Kersh, V., Kolesnikov A., Lyashenko T, Pidkapka M. (2015) Structurally-Oriented Design of the Heat Insulation Plastering Material, No: Proceedings of REHVA Annual Conference 2015, Latvija, Riga, 6-9. maijs. Riga: RTU PRESS. 241.-244.lpp. ISBN 978-9934-10-685-9
5. Kersh V.Y., Kolesnikov A.V., Foshch A.V. (2013). Optimizatsiya struktury i svoystv teploizolyatsionnykh kompozitov na osnove ikh diskretnykh modeley, Visnik ODABA., Odesa: Zovnishreklamservis, 51, 256-260.
6. Drozhzhin, V.S., Pikulin I.V., Savkin G.G. (2002). and others. Cenospheres. Properties and diagnostics, Proceedings SWEMP, Cagliari, Italy, 1059.
7. Mamunya Y. P., Davydenko V.V., Pissis P.P, Lebedev E.V. (2002) Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders, European polymer Journal, 38, 1887-1897.
8. Lyashenko T., Kersh V., Kersh D. (2012). Modelling the effect of composition on the properties of gypsum concrete containing cenospheres. Proc. 18 Ibausil. - Weimar (Germany), V. 1. P. 1-0416-0423.
9. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. (2010). Spravochnik po stroitel'nomu materialovedeniyu, Moscow, Ifra-Inzheneriya, 472 p.
10. Dovgan' I.V., Kersh V.Y., Kolesnikov A.V., Semenova S.V. (2015). Statisticheskove issledovaniye porovoy struktury teploizolyatsionnykh kompozitov. Visnik ODABA., Odesa. Zovnishreklamservis. 60, 86-90.
11. Kersh V.Y., Kolesnikov A.V. (2013). Fiziko-khimicheskiye osnovy ratsional'nogo vybora komponentov teploizolyatsionnogo materiala. Visnik ODABA. Odesa. Zovnishreklamservis. № 50 (1). 125-130.
12. Dudar I.N. (2001). Termosylova tekhnolohiya betonu, Universum-Vinnitsya, 145.

УДК 536.24:620.92:624.13

## ВИЛУЧЕННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ТЕПЛОТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

Морозов Ю. П.<sup>1</sup> д. т. н, Чалаєв Д. М.<sup>2</sup> к. т. н, Величко В. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут відновлюваної енергетики НАН України

<sup>2</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України

## EXTRACTION OF GEOTHERMAL HEAT USING HEAT PIPES

Yu. P. Morozov<sup>1</sup>, D. M. Chalaev<sup>1,2</sup>, V. V. Velichko<sup>1</sup>

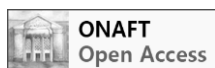
<sup>1</sup>Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup>Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Анотація.** Одним з розповсюджених джерел теплової енергії є природна теплота ґрунту. Предметом дослідження статті є технології видобування геотермальної низькопотенційної теплоти приповерхневих шарів Землі. Розглянуто технології видобування теплоти приповерхневих шарів Землі за допомогою свердловинних теплообмінників і геотермальних теплових насосів. Пропонується використовувати отриману теплоту в теплонасосних системах децентралізованого тепlopостачання об'єктів невеликої встановленої потужності (ферми, житлові будівлі, котеджі, офіси, готелі). Перспективною технологією видобування низькопотенційної теплоти приповерхневих шарів Землі є технологія з використанням глибинних геотермальних зондів на основі термосифонних теплових труб. Безнасосний метод вилучення низькопотенційної теплоти приповерхневих шарів Землі за допомогою глибинних термосифонних зондів дозволяє істотно підвищити показник сезонної ефективності (SPF) геотермального теплового насоса. При застосуванні цієї технології немає потреби організувати примусову циркуляцію робочого тіла, тому що перенос теплоти відбувається шляхом випаровування та конденсації робочого тіла в термосифонній тепловій трубі. Завдяки чому скорочується споживання електричної енергії та підвищується показник сезонної ефективності геотермального теплового насоса. Показані переваги геотермальних свердловинних теплообмінників на основі термосифонних теплових труб в економічному та екологічному аспектах. Розглянуті теплофізичні властивості екологічно безпечних робочих тіл, що використовуються в геотермальних термосифонах, і наве-