Висновки

Одержані в статті кінетичні закономірності дозволяють розраховувати ступінь дегідратації бішофіту за різних режимів сушіння й добирати режими з мінімальними втратами цільового продукту.

У подальших дослідженнях слід експериментально уточнити визначальні стадії процесу й запропонувати шляхи їх інтенсифікації.

Список використаної літератури

1. *Лебедев, О. А.* Производство магния электролизом [Текст] / О. А. Лебедев. – М. : Металлургия, 1988. – 288 с.
2. *Эйдензон, М. А.* Магний [Текст] / М. А. Эйдензон. – М. : Металлургия, 1969. – 352 с.
3. *Марчевський, В. М.* Кінетика сушіння кристалічного бішофіту [Текст] / В. М. Марчевський, Р. М. Улітько, А. С. Галстян // Зб. наук. пр. Одеської національної академії харчових технологій. – 2010. – С. 113-116.

The process of dehydration of crystalline hydrates of the bischofite was researched. The value of the dehydration degree and the energy of activation of the process stages were experimentally determined.
Keywords: *bischofite, crystalline hydrate, dehydration.*

Надійшла до редакції 23.03.2012

УДК 666.96

ГЕРИЧ О. С., магістрант; РАКИЦЬКИЙ В. Л., к.т.н., доц.; СОБЧЕНКО В. В., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ЗАСТОСУВАННЯ ПОРИСТИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ БЕТОНУ

Проаналізовано властивості та сфери застосування пористих заповнювачів для бетону. Визначено заповнювач, що доцільно використовувати в малоповерховому будівництві.
Ключові слова*: бетон, пористі заповнювачі, малоповерхове будівництво.*

Постановка проблеми

Виробам і конструкціям із легкого бетону, що ефективно використовують у сучасному малоповерховому й сільськогосподарському будівництві, можна надавати різноманітних властивостей, змінюючи в широких межах їхню міцність, густину, теплопровідність, у тому числі добираючи різні заповнювачі. На жаль, виробники зазвичай не надають точної інформації щодо властивостей цих матеріалів, що ускладнює їхній добір для конкретної рецептури бетону.

Метою статті є аналіз властивостей пористих заповнювачів для бетону та визначення найдоцільнішого для використання у малоповерховому будівництві.

Аналіз властивостей заповнювачів

Як пористі заповнювачі для бетонів в Україні широко використовують аглопорит, спучений вермикуліт, керамзит, спучений перліт, піноскло, сиопор, склопор і тремоліт (табл. 1).

Аглопорит – це штучний матеріал пористої структури, одержуваний термічним обробленням із глинистих порід чи відходів видобутку, збагачення і спалювання вугілля агломерацією шихти з подальшим розсіюванням чи подрібненням на фракції [1]. Шихта має містити 4…10 % умовного палива й бути газопроникною. Аглопорит одержують у вигляді щебеню чи гравію (зерна 5…40 мм) і піску (зерна менше 5 мм). На утворення пористої структури аглопориту впливають ступені видалення вільної й фізично зв'язаної води; вигоряння палива та органічних домішок, наявних у вихідній сировині чи спеціально введених у неї; просочування повітря й газів крізь шар розм'якшеної шихти; спікання частинок за наявності рідкої фази в окремому елементі шихти (зерні, гранулі); контактного спікання елементів у шарі шихти.

© Герич О. С., Ракицький В. Л., Собченко В. В. , 2012

Особливістю аглопориту, як і більшості інших заповнювачів, є те, що із зменшенням розмірів фракції щебеню чи піску, його насипна густина зростає. Міжзернова пустотність щебеню становить 50…60 %, отже густина зерен приблизно вдвічі більша, аніж насипна густина щебеню.

Таблиця 1 – Основні фізико-механічні властивості пористих заповнювачів для бетону

Матеріал	Насипна густина, кг/м^3	Теплопровідність, Вт/(м · К)	Міцність на стиск, МПа	Морозостійкість, 15 циклів за втрати маси не менше, %	Водопоглинення, %	Пористість, %
Аглопорит	400…1100	0,12...0,26	0,5...2,0	8	5...12	40...60
Вермикуліт спучений	80…300	0,07...0,23	0,5...2,3	–	до 400	0...80
Керамзит	250...1000	0,10...0,18	0,5...3,5	8	10...25	60...90
Перліт спучений	100...600	0,046...0,116	0,02...1,5	10	30...125	до 90
Піноскло	150...220	0,067...0,072	0,6...1,1	–	5	80...95
Сиопор	60...120	0,048...0,055	0,14...0,17	–	90...130	до 95
Склопор	60...100	0,040...0,053	0,15...0,2	–	до 18	98...99,6
Термоліт	600...1200	0,09...0,14	1,5...7,0	–	25...35	20...60

Спучений вермикуліт – це сипкий пористий матеріал у вигляді луски сріблястого, золотистого чи жовтого кольору, яку одержують прискореним випалом вермикулітового концентрату – гідрослюди, що містить зв'язану воду між елементарними шарами [3].

Унікальні властивості вермикуліту пов'язано з його здатністю до спучування після нагрівання до 50 разів. За розміром зерен вирізняють три фракції: крупну – 10…5 мм, середню – 5,0…0,6 мм, дрібну – менше 0,6 мм. Міцність зерен є вищою в напрямку, паралельному площині спайності. Крупнозернистий вермикуліт краще спучується під час випалу, тому має меншу об'ємну вагу й більшу пористість, аніж дрібнозернистий. Спучений вермикуліт здатен частково відновлювати розміри зерен після зняття навантаження. Характеризується високим водопоглиненням. Нетоксичний, хімічно інертний, біологічно стійкий, не виділяє шкідливих елементів за підвищеної температури. Висока температуростійкість дає можливість використання вермикуліту для виготовлення термостійкої й вогнезахисної ізоляції.

Керамзит – пористий будівельний матеріал у вигляді червоно-коричневих, на зламі – чорних частинок округлої форми з оправленою поверхнею зовні й пористою всередині [4]. Керамзит одержують із легкоплавкої глини, яку випалюють у барабанних печах за температури до 1200 °С сухим, мокрим, порошково-пластичним і пластичним способами. Як заповнювач має ряд переваг: екологічно та біологічно чистий; ідеально поєднує конструкційні й теплоізоляційні властивості; не взаємодіє з агресивними середовищами; за високих температур не горить і не утворює шкідливих газів; має звукоізоляційні властивості. Недоліком є низький коефіцієнт спучення сировини (2...4). Його підвищують, додаючи солярову оливу, мазут, піритні недогарки, нафтобітумні породи, хоч це ускладнює виробництво.

Спучений перліт – штучний пористий матеріал, що одержують спучуванням перліту, вітроміру, пехштейну та обсидіану за температури 800…1050 °С. За структурою є пористозернистим теплоізоляційним матеріалом; сипким, неорганічним, мало- чи середньотеплопровідним. Вирізняють щебінь, гравій, пісок, порошок і пудру. Спучений перліт є вогне- та біостійким, хімічно інертним. Відрізняється високим водопоглиненням, яке зростає із збільшенням коефіцієнта спучення.

Гранульоване піноскло – пористий заповнювач, що виготовляють спінюванням в обертових печах гранул із бою тарного та будівельного скла, подрібненого в кульових млинах і змішаного з невеликою кількістю (1…3 %) деревного вугілля, вапняку чи інших матеріалів, що виділяють газ за температури розм'якшення скла. Для виробництва 1 м^3 піноскла потрібно 60 кг умовного палива, що майже вдвічі менше, аніж для керамзиту. Гранульоване піноскло характеризується морозо-, водо- й біостійкістю.

Сиопор – неорганічний силікатний матеріал у вигляді пористих сферичних гранул жовтого кольору. Виготовляють шляхом низькотемпературного термічного оброблення подрібненого напівфабрикату з кремнеземистої природної сировини (у вигляді трепелу, опоки) та каустичної соди. Сиопор широко використовують у будівництві. Завдяки високій пористості (понад 95 %) і кулеподібній формі гранул, сиопор має малу насипну густину (60…80 кг/м^3), теплопровідність і високі звукоізоляційні властивості [5]. На відміну від деревно-волоконних матеріалів він є довговічним, водостійким, не містить волокон, не

пошкоджується комахами, гризунами та пліснявою, не накопичує статичну електрику. Сиопор має малу усадку в засипці, не виділяє шкідливих речовин, є вогнестійким (клас НГ ДБН В.1.1-7-2002), має стабільну форму й високу міцність, завдяки чому гранули сиопору не пошкоджуються під час формування виробів.

Склопор – пористий матеріал на основі рідкого натрієвого скла з добавками для надання гідрофобності та міцності, одержуваний частковим зневодненням за температури 80...90 °С із гранулюванням і спучуванням продукту за температури до 400 °С. Технологія склопору є перспективною завдяки низьким температурам оброблення й попередньому зневодненню, що зменшує енергетичні витрати. Склопор використовують як легкий теплоізоляційний матеріал, але його недоліком є неводостійкість (руйнування гранул після контакту з водою відбувається вже за годину). Щоб збільшити водостійкість, зовнішню оболонку гранули слід формувати більш щільною й твердою, що ускладнює технологічний процес.

Термоліт – штучний пористий заповнювач у вигляді щебеню, гравію чи піску, що одержують випалюванням діатомітів, трепелів, опок без спучування або за незначного спучування [6]. Технологічно можливо одержати термолітовий гравій чи щебінь спучуванням сировини з лужними добавками, що ускладнює технологію виробництва, але покращує їх якісні характеристики (зменшує насипну густину до 250...600 кг/м^3 і збільшує міцність під час стискання в циліндрі до 0,5...2 МПа).

Застосування заповнювачів

Аглопорит застосовують у виробництві високоміцного бетону, для будівництва навантажених конструкцій: багатоповерхівки, мостові ферми й прольоти тощо. Конструкції з такого бетону характеризуються меншою середньою густиною, а їхня собівартість на 10…12 % менше, аніж аналогічних конструкцій із важкого бетону [2]. Хоча теплопровідність аглопориту менша, аніж керамзитобетону, його конструкційно-ізоляційні марки (із крупного гравію й щебеню) мають непогані тепло- й звукоізоляційні характеристики. На відміну від керамзиту, аглопоритовий щебінь має більшу кількість відкритих пор (15…20 %), що дещо збільшує витрату цементу під час виготовлення бетону, проте зміцнює його завдяки кращому зчепленню з цементним каменем. Використання аглопориту на основі золи та шлаків ТЕС дає змогу одержати легкі бетони класів В3,5…В30 середньої густини 900…1800 кг/м^3 за витрати цементу 200…400 кг/м^3.

Спучений вермикуліт застосовують у металургії, енергетиці, сільському господарстві тощо, проте найбільше – для виробництва теплоізоляційних матеріалів [2]:

азбестово-вермикулітних на синтетичних смолах (плити, напівциліндри, сегменти) – для ізолювання будівельних огороджувальних конструкцій, звукоізоляції стель, стін (звукопоглинання), перегородок;

бітумно-вермикулітних – для ізолювання обладнання холодильників, промислового обладнання та трубопроводів за температури поверхні до 60 °С;

керамо-вермикулітних і цементо-вермикулітних – для ізолювання промислового обладнання й трубопроводів із температурою поверхні до 600 °С, вогнезахисних покриттів будівель і споруд.

Вермикулітобетон є легким бетоном, основним заповнювачем якого є спучений вермикуліт, а в'яжучим – цемент, розчинне скло, бітуми, синтетичні смоли.

Спучений вермикуліт має велику відкриту пористість, тому засипки з нього характеризуються високим звукопоглинанням. Цю властивість використовують для глушіння повітряного шуму в перекриттях будинків. Здатність до звукопоглинання залежить від товщини засипки, розміру та форми зерен, частоти звукових коливань. Найкраще поглинає звук засипка із зерен розміром 0,3…0,6 мм.

Шар вермикулітової засипки в 20 см за теплозахистом є еквівалентним цегляній стіні завтовшки 1,5 м чи бетонній стіні завтовшки 2 м. Шар із 5 см вермикуліту на горищних перекриттях зменшує теплові втрати на 75 %, 7,5– на 85, 10 см – на 92 %. Засипки в стінових конструкціях використовують для захисту приміщень від перегрівання та охолодження, для ізолювання холодильних камер, склепінь печей, звукового ізолювання камер випробувань авіаційних та автомобільних двигунів, звукопоглинання у звукозалах і кіностудіях.

Поряд із засипками, використовують будівельні розчини із вермикулітовим заповнювачем, що завдяки високій пористості, мають у 2…4 раза меншу об'ємну вагу і в 4…6 раза менший коефіцієнт теплопровідності, аніж традиційні, і належать до легких «теплих» розчинів. Шар із «теплої» цементно-вермикулітової штукатурки завтовшки 2 см може замінити шар цементно-піщаного розчину завтовшки 15…20 см. За товщини цементно-вермикулітового шару 3 см, товщина цегляної стіни може бути зменшена на 25 %.

Як легкий наповнювач для бетону, штукатурок (у тому числі декоративних і вогнестійких), стінових панелей, перекриттів, застосовують також руберойд із вермикулітовою посипкою.

Керамзитовий гравій та пісок застосовують у виробах із легких бетонів. Керамзит марок 250…500 широко застосовують для стінових панелей; марок 600…800 – для конструкційних виробів, наприклад панелей перекриття, а також у будівництві мостів, де особливо важливо зменшити масу конструкцій.

Теплоізоляційний керамзитобетон різної структури застосовують як теплоізоляційний матеріал у складних огороджувальних конструкціях будівель. Конструктивно-теплоізоляційний – для одношарових стінових панелей, крупних блоків тощо. Конструктивний – для різних конструкцій будівель та інженерних споруд. Точні розміри й різноманітність форм керамзитобетонних блоків дозволяють поєднувати їх з усіма залізобетонними виробами, металоконструкціями тощо.

Заміна цегли на керамзитобетон в малоповерховому будівництві зменшує собівартість робіт на 30…40 %, а втрати теплоти – на 75% [2].

Проте порівняно з важким бетоном керамзитобетон має меншу густину й морозостійкість, порівняно зі звичайним бетоном – є більш крихким.

Спучений перліт найчастіше застосовують у перлітобетоні на різних в'яжучих, як звукопоглинальний і теплоізоляційний матеріал від мінус 180 до плюс 900 °С, заповнювач штукатурних розчинів, а також особливо легких теплоізоляційних, конструкційно-ізоляційних і жаростійких бетонів.

Для футерування промислових печей, димових труб та інших теплових агрегатів виготовляють жаростійкі перлітобетони, що можуть бути закладені у вигляді моноліту в тепловому агрегаті. Це дозволяє зменшити масу огородження печей в 2…3 раза й знизити їхню вартість на 30…50 %.

Використовують також теплоізоляційні штукатурні склади на основі спученого перлітового піску, гіпсового та вапняного в'яжучих, а також фосфоперлітобетон із вогнестійкої глини, фосфатного в'яжучого на основі ортофосфорної кислоти та спученого перлітового піску.

Гранульоване піноскло застосовують замість керамзитового гравію у виробництві теплоізоляційних плит із легкого бетону для покриттів промислових будівель, овочесховищ та інших приміщень, а також як наповнювач для пінопластів. Блоки з піноскла застосовують для ізолювання будівельних конструкцій, промислового обладнання, холодильників в інтервалі робочих температур від мінус 260 до плюс 430 °С за відносної вологості до 97 %. Максимальні розміри виробів 475×400×120 мм.

Із гранульованого піноскла з насипною густиною 150 кг/м^3 фракцій 0…5 мм одержують легкий теплоізоляційний і конструкційно-теплоізоляційний бетон класів міцності В0,75 (М10) – В2,5 (М35) із густиною в сухому стані 350…500 кг/м^3.

Сиопор застосовують як тепло- та звукоізолюючу засипку й сорбент для збирання з води та ґрунту розлитої нафти й нафтопродуктів. Сиопорбетон – макропористий бетон на основі суміші сиопору, портландцементу й полімерних добавок густиною 300…600 кг/м^3 і міцністю на стиск 0,7…1,6 МПа, призначений для виготовлення монолітних конструкцій, стінових блоків і плит. На основі дрібної фракції сиопору виготовляють легкі теплоізоляційні та звукопоглинальні штукатурні суміші на цементному й гіпсовому в'яжучому, що легко наносяться й швидко висихають. Розчини на основі дрібної фракції призначено для утворення «теплого» шва в будівництві зовнішніх стін із легких блоків малої теплопровідності.

Склопор застосовують як теплоізоляційну засипку, заповнювач для легких бетонів, штукатурних розчинів, а також у заповнених пінопластах, зменшуючи витрату полімеру та підвищуючи вогнестійкість виробів. Вироби з жаростійкого теплоізоляційного склопорбетону, що призначено для теплової ізоляції (футеровки) промислових печей, димових труб та інших агрегатів, одержують із пористого рідкого скла у вигляді гранул розміром 1…10 мм, в'яжучого (портландцемент, рідке скло, глиноземистий цемент) і добавок (зазвичай, шамот із частинками до 1 мм). Залежно від складу густина склопорбетону становить 400…1000 кг/м^3, а температура використання – 600…1000 °С.

Більшість *термолітових* заповнювачів, одержаних із діатомітів, трепелів, опок і перехідних різновидів, є «полегшеними», рекомендованими для конструкційних (В10…В40) і конструкційно-теплоізоляційних бетонів. Термолітобетон затребуваний у будівництві відносно дешевих житлових будинків, господарських і промислових об'єктів, що мають відносно невелику масу й навантаження на фундамент.

Висновки

Кожен із відомих пористих заповнювачів для бетону достатньо широко застосовують у будівництві. Найкращі експлуатаційні показники мають аглопорит, керамзит, спучений перліт і сиопор. При цьому для виробництва сиопора, який має високі показники теплопровідності й достатню міцність на стиск, витрачається втричі менше енергії, що обумовлює його меншу вартість, порівняно з іншими проаналізо-

ваними заповнювачами. З огляду на це, його можна рекомендувати для застосування в малоповерховому будівництві.

Попередніми дослідженнями визначено, що під час виробництва пористих заповнювачів краще використовувати двостадійну схему. Разом із цим, існує потреба в дослідженні впливу сушіння на фізико-механічні властивості заповнювачів, зокрема сиопору.

Список використаної літератури

1. *Аглопоріт* [Електронний ресурс] / Всі слова. – Режим доступу : http://vseslova.com.ua/word/Аглопоріт-1128u (дата звернення 25.02.2012). – Заголовок з екрана.
2. *Кривенко, П. В.* Заповнювачі для бетону [Текст] / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, М. О. Кочевих. – К. : ФАДА, ЛТД, 2001. – 399 с.
3. *Українська* Вермикулітна Група [Електронний ресурс] / ПП «Українська Вермикулітна Група». – Режим доступу : http://uvg.org.ua/descriptions/ (дата звернення 25.02.2012). – Заголовок з екрана.
4. *Керамзит*: свойства, применение, стоимость [Електронний ресурс] / Arminter. – Режим доступу : http://www.arminter.net/articles/Kieramzit-svoistva-primienieniie-stoimost-a266.html (дата звернення 25.02.2012). – Заголовок з екрана.
5. *Свойства* [Електронний ресурс] / Сиопор.ua. – Режим доступу : http://siopor.ua/komfort/siopor/properties.html (дата звернення 25.02.2012). – Заголовок з екрана.
6. *Иваненко, В. Н.* Строительные материалы и изделия из кремнистых пород [Текст] / В. Н. Иваненко. – К. : Будівельник, 1978. – 120 с.

The analysis of properties and applications of porous fillers for concrete, which are the most widely used in Ukraine has been conducted. The filler, which most effectively used in low-rise building, is defined.
Keywords: *filler, concrete, low-rise building.*

Надійшла до редакції 25.02.2012

УДК 644.8.047

ГОРОДНІЧЕНКО Є. С., магістрант; СНЄЖКІН Ю. Ф., д.т.н., чл.-кор. НАН України; ЗУБРІЙ О. Г. к.т.н., доц.; ПЕТРОВА Ж. О., к.т.н., с.н.с.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ТЕПЛОМАСООБМІН ПІД ЧАС СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ТІЛ

Досліджено теплообмін під час сушіння горохово-морквяної суміші, розраховано безрозмірне число Ребіндера для різних параметрів теплоносія. Розраховано коефіцієнт тепловіддачі для різних режимів руху сушильного агенту. Визначено оптимальний режим сушіння.
Ключові слова: *сушіння, горохово-морквяна суміш.*

Постановка проблеми

Харчові продукти рослинного походження є термолабільними капілярно-пористими колоїдними матеріалами, що ускладнює їхнє сушіння [1]. Внаслідок складного механізму тепломасоперенесення аналітичний розрахунок сушіння таких продуктів, зокрема горохово-морквяної суміші, що є джерелом каротиноїдів, майже неможливий, тому процес зазвичай досліджують експериментальним шляхом [2].

Аналіз попередніх досліджень

Основне рівняння кінетики сушіння [3] є балансом енергії, що підводиться до капілярно-пористого колоїдного тіла ззовні Q_F, і теплотою, витраченою на випаровування вологи $Q_в$ й нагрівання самого тіла $Q_н$: $Q_F = Q_в + Q_н$. Тепловий потік Q_F визначається добутком питомого теплового потоку q_F і площі поверхні тіла F: $Q_F = q_F F$.

© Городніченко Є. С., Снєжкін Ю. Ф., Зубрій О. Г., Петрова Ж. О., 2012