

УДК 691.311-419

Гавриш О.М., к.ф.н., професор КНУБА, Генеральний директор, ТОВ «Кнауф Гіпс Київ», м. Київ

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ГІПСОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Нагальною потребою сьогодення є втілення в життя принципів сталого розвитку, задекларованих на конференції ООН з навколишнього середовища та розвитку в 1992 році. Сталий розвиток – це розвиток суспільства, при якому задоволення потреб в природних ресурсах теперішніх поколінь не повинно ставити під загрозу можливості майбутніх поколінь задовольняти в них свої потреби, коли будуть узгоджені екологічні та соціальні складові розвитку, коли техногенне навантаження не буде перевищувати можливостей природного доквілля до самовідновлення, а суспільство усвідомить перевагу екологічних пріоритетів над іншими.

Сталий розвиток визначено ООН як основний напрям розвитку людської цивілізації на XXI століття, альтернативи якому немає, бо інший шлях призведе до всесвітньої екологічної катастрофи. Принципи сталого розвитку торкаються багатьох сфер людської діяльності, в тому числі і будівництва. Будівництво на засадах сталого розвитку (енергоефективне, раціональне будівництво) означає, що необхідно прагнути на всіх етапах життєвого циклу (проекування, будівництво, експлуатація, перепланування, модернізація, капремонт і в кінці кінців – демонтаж та утилізація) до економії енергії та природних ресурсів, до найнижчого рівня негативного впливу на навколишнє середовище та до найвищих показників комфорту при врахуванні потреб майбутніх поколінь.

Яким чином можна цього досягти? Щоб оцінювати потребу та використання природних ресурсів в будівельній галузі розроблено методіку на основі визначення «вмісту» первинної енергії в будівельному матеріалі та впливу його виробництва та використання на екологію. Порівняння різних будматеріалів за цією методикою стало основою для їх екологічної характеристики – «екобалансування» (анг. life cycle assessment, нім. Ökobilanz).

У 2005 році почали збуватися прогнози аналітиків про кінець ери нафти і газу, їх загальносвітове споживання почало випереджувати видобуток. Вуглецевого палива на світових ринках стало не вистачати, і почали спрацьовувати ринкові регулятори – ціни поповзли вгору. Загальносвітове підвищення цін на енергоносії вимагає радикальних змін в підходах до всіх сфер людської діяльності, і в тому числі – будівництва. Оцінка екобалансу будівельних матеріалів виходить на передній край. Для прикладу: після Другої світової війни суспільство високо цінило жирну та білкову їжу, тому що багато людей під час війни жили впроголодь. Насиченість продуктових ринків сьогодні та медичні дослідження здоров'я привели до того, що дуже динамічно розвивається сегмент низькокалорійних продуктів. По аналогії можна стверджувати, що

ми вступаємо в еру «низькокалорійних» будівельних матеріалів, виготовлених з найменшими енергозатратами та з незначним впливом на екологію.

Тому питання енергоефективності у виробництві будівельних матеріалів, в т.ч. в'язучих та похідних будівельних матеріалів є дуже актуальним. Особливо це стосується цементної промисловості, яка є лідером в енергозатратах на тонну готової продукції (табл. 1) [1].

В зв'язку з цим основними напрямками в розвитку сучасних технологій виробництва цементу є наступні:

- перехід від мокрого до менш енергозатратного сухого методу випалу клінкеру;
- використання альтернативних паливних матеріалів;
- зменшення відносних енергозатрат палива до 725 ккал/кг;
- зменшення відносних енергозатрат електроенергії до 90 кВт/т;
- автоматизація технологічних процесів для підвищення якості в'язучого та рівня завантаженості печей;
- зменшення викидів (пил, NOx, SOx) [2].

Експерти вважають, що найближчі 10–15 років не передбачається суттєвих змін в технології виробництва цементу. А от постійне удосконалення вже існуючих потужностей та проектування нових з врахуванням наведених вище вимог допоможе крок за кроком зменшувати енергоємність виробництва та навантаження на довкілля.

Що стосується гіпсових в'язучих, то енергозатрати на їх виробництво в сучасних високоефективних котлах безперервної дії, обертових печах або котлах-млинах складають всього 2–10% від енергозатрат в цементній промисловості. Але не завжди це було так, особливо коли мова йде про енергозатратні традиційні котли періодичної варки гіпсу.

На підприємстві «Кнауф Гіпс Київ» накопичено певний досвід в модернізації гіпсових котлів, тобто в переобладнанні традиційних котлів періодичної варки в котли безперервної дії [3]. З початком реконструкції цеху

Таблиця 1  
Відносні енергозатрати на виробництво в'язучих

Види в'язучих	Енергозатрати, %
Цемент	100
Негашене вапно	95
Гашене вапно	75
Гіпсові в'язучі	2
Ангідритне гіпсове в'язуче	10

гіпсу в 2000 році в результаті переоснащення котлів періодичної варки, енергозатрати яких склали в середньому 527 кВт/т, та переходу на безперервну їх експлуатацію, вдалося зменшити витрати палива на 20%.

Подальша модернізація котлів безперервної дії під керівництвом Кнауф Інжинірінг спеціалістами технічного відділу ТОВ «Кнауф Гіпс Київ» включала наступні кроки:

- нарощування ємності котла над вихідним отвором труби вивантаження;
- збільшення кількості труб теплообмінника для оптимальної взаємодії гіпсового порошку з теплоносієм;
- влаштування спеціальних спіралеподібних турбуляторів в трубах теплообмінника для збільшення часу перебування теплоносія в котлі та кращого теплообміну;
- заміна старих пальників на сучасні енергоефективні пристрої;
- впровадження електронної системи управління технологічним процесом для отримання оптимальних показників якості готового продукту.

Ці кроки дали змогу зменшити енерговитрати на 1 тону гіпсового в'язучого ще на 30%, а в цілому з початку модернізації – в 2 рази.

Використання гіпсових в'язучих для виготовлення плитних будівельних матеріалів (гіпсокартонних, гіпсоволокнистих, пазогребневих плит, плит «Фаєрборд», «Діамант» тощо) передбачає в технологічному процесі після формування плит їх сушку, що означає ще один доволі енергозатратний етап виробництва. Тому порівняння будівельних виробів, наприклад цементних та гіпсових плит, за енергозатратами на їх виготовлення показує трохи іншу картину, ніж порівняння в'язучих. Так енергозатрати на звичайну ГКП масою до 10 кг/м<sup>2</sup> становлять вже близько 25% від енергозатрат на виробництво цементної плити «Аквапанель» тієї ж товщини та геометричних розмірів, але масою до 15 кг/м<sup>2</sup>.

Виробництво гіпсокартонних плит є безперервним процесом, який починається з підготовки компонентів і змішування гіпсового в'язучого з водою та сухими і рідкими добавками для контролю за реологічними властивостями суміші (таблиця 2).

Отриманий спінений розчин надходить зі змішувача через спеціальні тічки безпосередньо на шар нижнього картону, який рухається на стрічці конвеєра. При цьому необхідно, щоб розчин розпливався за всією шириною картону протягом обмеженого часу перед покриттям гіпсового розчину другим шаром картону. Цей етап триває 5–10 секунд залежно від довжини формувального столу та швидкості лінії. Після етапу змішування формуються геометричні розміри плити (ширина і товщина) та вид кромки. В процесі формування з допомогою спеціальних пристроїв механічної дії плита гіпсокартону має набути остаточної форми, тобто після цієї операції гіпсовий розчин більш не повинен розпливатися під власною масою. Приблизно через 4–10 хвилин транспортування на рольгангу суцільну плиту ріжуть у відповідності з необхідними розмірами ГКП по довжині, перш ніж вони надійдуть в сушарку для того, щоб видалити з них надлишкову воду.

Регулювання реологічних властивостей розчинів з метою отримання продукції з заданими характеристиками є сьогодні актуальним завданням будівельного матеріалознавства, аналітичної та колоїдної хімії. Досягнення в цих галузях висвітлені в багатьох виданнях фахової літератури [4, 5]. Не менш актуальним, однак, є аналіз та вивчення регулювання реологічних властивостей розчинів в процесі виробництва будівельних матеріалів з точки зору їх енергоефективності. Розглянемо це питання на прикладі технологічного процесу виробництва ГКП.

Очевидно, що єдиною енергозатратною складовою (таблиця 2), якщо не враховувати виробництво гіпсового в'язучого, є сушіння ГКП, тобто видалення надлишкової вологи. Теоретично цієї вологи повинно бути не більше 20%, практично ця величина коливається від 50 до 70%. Тому зменшення відсотків надлишкової вологи є основним регулюючим фактором енергоефективності виготовлення ГКП.

Великий відсоток надлишкової вологи пов'язаний з такими складовими технологічного процесу як замішування та формування ГКП, де необхідно в першу чергу дозуванням води забезпечити необхідну пластичність та в'язкість розчину. Недостатня пластичність може призводити до різних небажаних ефектів, як-то незаповнення кромки ГКП гіпсовою масою, недостатня стабільність (ефект «розмолочування»), недостатня міцність зчеплення картону з гіпсовою серцевиною, тощо. Надлишкова в'язкість приводить до налипань в змішувачі, які у вигляді грудок через тічки потрапляють на лінію і приводять до пориву картону або інших небажаних ефектів. Тому технологи, щоб уникнути вищезазначених факторів, які призводять до відбраковки продукції, рекомендують регулювати реологічні властивості суміші в першу чергу дозуванням води. А це в свою чергу призводить в процесі сушіння до значних енергозатрат.

Щоб зменшити видалення надлишкової вологи з ГКП, використовують зазвичай два основних чинники: виробництво гіпсового в'язучого певного модифікаційного складу та/або застосування регулюючих добавок (розріджувачів, пластифікаторів), які зменшують дозування води на лінії виробництва гіпсових плит.

Водопотреба гіпсових в'язучих залежить від багатьох факторів, основними з яких є склад сировини (гіпсового каменю), спосіб випалу гіпсу та спосіб складування в'язучого, який приводить до ефекту старіння. Склад сировини в свою чергу залежить від походження гіпсового каменю (родовище), відсотка CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O та домішок. Встановлено, наприклад, що з гіпсів більш давнього походження при випалі на одних і тих же агрегатах утворюється в'язуче з більш низькою водопотребою, ніж з гіпсів порівняно ранніх періодів, які залягають неглибоко від поверхні землі. Домішки, в свою чергу, не приймають участі в процесі гідрататії, тому вони теж зменшують водопотребу.

Залежність властивостей гіпсових в'язучих від способу випалу доволі детально описана в фаховій літературі [6]. Використання α – напівгідрата, на основі якого можна отримати легкоукладальну суміш із використанням мінімальної кількості води замішування, не рекомендується в чистому вигляді через підвищену крихкість виготовлених на його основі виробів. Засто-

**Регулювання реологічних, структурно-механічних та технологічних властивостей дисперсних систем у виробництві ГКП**

№	Складові технологічного процесу	Властивості дисперсних систем в різних агрегатних станах	Основні регулюючі фактори
1	Підготовка та дозування компонентів	- дисперсність - водопотреба - терміни тужавлення - модифікаційний склад	- підбір складу сировини - спосіб випалу гіпсу - гомогенізація - старіння (спосіб складування) - дозування
2	Замішування	- пластичність - в'язкість - водопотреба	- час замішування - інтенсивність - дозування води - температура дисперсних систем в різних агрегатних станах
3	Формування	- пластичність - водопотреба - стабільність (ефект «розмоложування»)	- механічний вплив на суміш - дозування води - регулюючі добавки
4	Транспортування на рольгангу	- терміни тужавлення - структуроутворення з заданими характеристиками	- модифікаційний склад в'язучого - дисперсність - температура суміші - регулюючі добавки
5	Розрізання	- міцність напівфабрикату ГКП - міцність зчеплення картону з серцевиною	- час для завершення процесу тужавління - інертні добавки (наповнювачі) - регулюючі добавки
6	Сушіння	- кількість надлишкової вологи в напівфабрикаті ГКП - міцність зчеплення картону з серцевиною	- дозування води - регулюючі добавки - температурний режим
7	Пакування	- нормована вологість серцевини ГКП	- температурний режим сушіння

совуючи  $\beta$  – напівгідрат і багатофазове гіпсове в'язуче, що потребують більшої кількості води для замішування та досягнення нормальної консистенції, випускають будівельні деталі з середніми значеннями по міцності, щільності і підвищеними еластичними показниками. Така продукція широко використовується в будівництві.

На кількість води для замішування, окрім способу виробництва, впливають також форми часток, гранулометричний склад і тонкість помелу гіпсових в'язучих. Дуже тонко змелені в'язучі потребують більшої кількості води для утворення тіста нормальної густини, ніж в'язуче, що складається з більш крупних фракцій. Голковидна форма частинок призводить до збільшення кількості води для замішування. Гранулометричний склад в'язучих істотно впливає на легкоукладальність гіпсового тіста.

Та все ж модифікація в'язучих в бік зменшення водогіпсового співвідношення не веде однозначно до зменшення водопотреби в системі вода – рідкі домішки – гіпсове в'язуче – сухі компоненти при змішуванні на лінії ГКП. Як показав досвід підприємства «Кнауф Гіпс Київ», тонкодисперсний гіпс з залишком на ситі з розміром комірок 0,2 мм не більше 2% (гіпс тонкого помелу), який має вище водогіпсове співвідношення в порівнянні з гіпсом середнього помелу (залишок на ситі – до 10%) виявив в гетерогенній системі певний

синергетичний ефект до зменшення надлишкової вологи в напівфабрикатах ГКП. Застосування на виробництві гіпсового в'язучого тонкого помелу дало можливість економити біля 3% використовуваних енергоносіїв під час сушіння ГКП, хоча, з іншого боку, дещо зросло споживання електроенергії в зв'язку з необхідністю більш довгої роботи молоткових млинів в процесі виробництва в'язучих.

Гіпсовим в'язучим, як і іншим матеріалам, властивий ефект старіння. Під старінням розуміють здатність в'язучих змінювати свої властивості при зберіганні, наприклад, адсорбції водяної пари з навколишнього повітря. Ступінь старіння в'язучого позначається на кількості води для замішування. Найбільша схильність до старіння спостерігається у свіжовипаленого гіпсу. При значній адсорбції води частинками гіпсового в'язучого утворюються зародки кристалів дигідрату, які прискорюють процес гідратації. При природному старінні випалених гіпсових в'язучих процеси протікають поволі, і його ефект відчувається не відразу.

При необхідності може бути досягнуте штучне старіння в'язучого шляхом додавання в гіпс перед випалом 0,2% хлористого кальцію або інших солей або при введенні невеликих порцій води. Завдяки ефекту старіння можливо досягти зменшення водопотреби гіпсового в'язучого до 20%.

Кількість води замішування гіпсових в'язучих для отримання необхідної консистенції суміші може коригуватися різними добавками-пластифікаторами, наприклад, моносольфонатами або мелаїновими смолами, оксидом поліетилену і ін.

Лінгосульфони (ЛС) довгий час використовуються для виробництва ГКП. Ці натуральні модифіковані полімери є побічними продуктами деревообробної промисловості. Але вони мають обмежену розріджувальну здатність, тому необхідні дуже високі дози цієї речовини. Ще одним недоліком ЛС є сповільнюючий ефект на терміни тужавіння, через який заводи не можуть нарощувати потужності, тобто збільшувати швидкість руху конвеєрної лінії.

В кінці 60-х років ХХ століття були розроблені бета-нафталінсульфонати (БНС), які ставали все більш популярними у виробництві як бетону, так і ГКП. У порівнянні з ЛС БНС майже не впливають на процес тужавіння, тому можуть використовуватися на більш швидкісних лініях. Однак подальше збільшення дози і зменшення водопотреби розчину приводить до певного граничного значення при все ще порівняно високому рівні дозування води. Сьогодні БНС все ж залишаються ефективною добавкою виробництва ГКП.

Щоб досягти більш інтенсивного зменшення кількості води і таким чином економити енергію, що використовується для висушування, протягом останніх 10 років у виробництві ГКП увага зосереджується на розробці полікарбоксилатних ефірів (ПКЕ). ПКЕ мають високу розріджувальну здатність навіть при додаванні у невеликих дозах, однак вони мають доволі високу сповільнюючу дію на терміни тужавіння і можуть негативно впливати на форму кристалів. Через взаємодію з доданою піною вони негативно впливають на пористу структуру. Особливо тоді, коли ПКЕ використовуються з натуральним гіпсом, спостерігається несумісність з деякими домішками, наприклад, з глиною [7].

Сьогодні на ринку будівельних матеріалів представлені суперпластифікатори на основі полікарбоксилатів фірм "BASF", "SIKA", "LGChem" та інших, які широко використовуються для модифікації бетонів завдяки високим розріджувальним властивостям. У виробництві ГКП однак все ще тривають експерименти в зв'язку з неможливістю застосування ПКЕ на швидкісних лініях. Але і тут намітився прорив: нещодавно компанія BASF розробила нове покоління пластифікаторів для виробництва ГКП – комбіновані полімери з фосфатними групами. Це нове покоління пластифікаторів поєднує переваги БНС і ПКЕ. Їх можна використовувати у дуже малих дозах (завдяки чудовій розріджувальній здатності і потенціалу зменшення кількості води), і вони мають незначний вплив на процес тужавіння. Абсолютно нова структура полімеру запобігає негативній взаємодії з будь-якими домішками, особливо з глиною, що здатна до розбухання, яка зустрічається в природних покладах гіпсу.

За даними компанії експерименти, проведені на техногенному сульфогіпсі, показали зменшення водопотреби суміші на лінії виробництва ГКП на 10% при дозуванні всього 15% ПКЕ з фосфатними групами в порівнянні з БНС, взятого за 100% [8].

Таким чином, ГКП як гетерогенний композиційний будівельний матеріал складається з окремих структурних елементів, взаємодія яких має адитивний та/або синергетичний ефект. Високий синергетичний ефект з точки зору зменшення водопотреби розчину на лінії виробництва ГКП і, як результат, зменшення енергозатрат на видалення залишкової вологи з готових гіпсових виробів мають застосування тонкодисперсних гіпсових в'язучих оптимального модифікаційного складу з одного боку та додавання суперпластифікаторів нового покоління, як, наприклад, полікарбоксилатних ефірів – з іншого. Роботи по всебічному аналізу процесів гідратації з точки зору зменшення водопотреби розчину для виготовлення ГКП продовжуються. Так на кафедрі товарознавства та комерційної діяльності в будівництві КНУБА під керівництвом проф. П.В. Захарченко проведено ряд експериментів по додаванню інертних домішок (цеоліту, крейди) до гіпсового розчину, які впливають на енергоефективність виробництва ГКП в двох напрямках:

- по-перше, додавання домішок економить в'язуче, виробництво якого пов'язане з суттєвими енергозатратами;

- по-друге, інертні домішки не приймають участі в гідратації і, як результат, зменшують водопотребу системи вода – рідкі добавки – гіпсове в'язуче – сухі компоненти, тобто зменшують енергозатрати на видалення надлишкової вологи при сушінні ГКП.

Результати досліджень дуже обнадійливі. Так, з додаванням до розчину 10% тонкодисперсної крейди водопотреба розчину знизилась на 5,1%, а міцність сухих зразків зростає: при згині – на 2,3%, при стиску – на 6,5%. Таким чином, додавання інертних домішок підвищує як енергоефективність виробництва ГКП, так і позитивно впливає на деякі інші споживні властивості готових виробів.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Губская А.Г., Лебедева О.Н., Меленько В.С. Гипс и материалы на его основе. Минск: Стринко, 2009. – 184 с.
2. Trends in cement kiln pyroprocessing // ZKG international, №2 2012. – S. 22 – 32.
3. Гавриш О.М. Развитие современных технологий производства строительного гипса. Будівельні матеріали та виробы, №2 (61), 2010. – С. 29–31.
4. Куприенко П.И. Технические суспензии: регулирование коллоидно-химических и технологических свойств. Киев, Наукова думка, 2000. – 287 с.
5. Tagungsbericht der 1. Weimarer Gipstagung. F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde. Weimar, 2011. – 450 S.
6. Захарченко П.В., Ленга Г., Гавриш О.М., Півень Н.М. Технологія та товарознавство систем сухого будівництва. Підручник. КНУБА. – Вид. 2-ге, виправл. і доповн. – К.: «СПД Павленко», 2011. – 512 с.
7. Dolgorew, V.A. Methods to compare the effectiveness of polycarboxylate plasticizers used in gypsum systems// Tagungsbericht der 1. Weimarer Gipstagung. Weimar, 2011. – S. 285 – 300.
8. Bräu, M.F. New Dispersants for Gypsum Wallboards// Tagungsbericht der 1. Weimarer Gipstagung. Weimar, 2011. – S. 123–128.