

МОБІЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ПОЛІМЕРІВ

Демченко В.Г. канд. техн. наук, Коник А.В. канд. техн. наук, Хоменко М.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Анотація. Економічна ситуація в Україні активно регресує в умовах воєнного стану і потребує зниження енергетичних витрат в побуті та промисловості, впровадження нових ефективних технологій й обладнання, що здатні інтенсифікувати технологічні процеси. У представленій статті надається пропозиція щодо використання мобільного технологічного комплексу для виробництва дисперсних систем на основі водорозчинних полімерів.

У статті розглядається формування водорозчинних полімерів на основі сухих речовин гуарової та ксантанової камеді та карбоксиметилцелюлози (ВРП). Такі водорозчинні полімери, крім високих технологічних характеристик, володіють значними адгезійними властивостями, що значно ускладнює процес їх виробництва. ВРП широко використовується в харчовій, фармацевтичній, гірничодобувній, текстильній, паперовій і будівельній промисловості, сільському господарстві, нафтовидобутку, очищення промислових стічних вод, стабілізації ґрунту і т.д. новою областю застосування ВРП є приготування рідких теплоакуючих матеріалів, що використовуються в системах зберігання теплової енергії (TES) і забезпечують стабільну роботу системи теплопостачання.

Робота мобільного технологічного комплексу заснована на тріступеневому змішуванні компонентів в певній послідовності, що обумовлено хімією процесу розчинення твердих речовин. Мобільний технологічний комплекс передбачає використання оригінального магнітного змішувача на початковому етапі для попередньої активації води і якісного перемішування ВРП, а в кінці модернізованого змішувального реактора для додаткового перемішування розчину.

Основний ефект від застосування мобільного технологічного комплексу - це підвищення якості і зменшення собівартості кінцевого продукту та зменшення часу технологічного процесу, що призводить до зниження споживання енергетичних ресурсів в процесах змішування, збільшення продуктивності та скорочення питомої енергоємності виробництва.

Ключові слова: мобільний технологічний комплекс, водорозчинні полімери, енергоефективність.

Формулювання проблеми. Розвиток енергоощадних технологій в різних галузях промисловості вимагає нових підходів до реалізації процесів, застосування нових матеріалів та обладнання. В представленій статті запропоновано принципово нову технологію приготування водорозчинних полімерів (ВРП), реалізовану у вигляді мобільного технологічного комплексу (МТК), що дозволяє безпосередньо у виробничих умовах отримувати багатфункціональні розчини.

Водорозчинний гідрофільний полімер, як правило, є полімерним матеріалом сухі речовини якого, можуть розчинятися у воді до отримання водного розчину або дисперсії. У молекулярній структурі ВРП міститься велика кількість гідрофільних груп, які умовно розподіляються на три категорії: катіонні, аніонні та неіоногенні групи [1], що значно урізноманітнює їх властивості. Їх водні розчини мають властивість псевдопластичності. Невеликі концентрації можуть призвести до значного зниження (до 80 %) турбулентного фрикційного опору води, в якій вони розчинені. ВРП застосовують для створення та регулювання необхідних фізико-хімічних та реологічних властивостей дисперсних систем та колоїдних розчинів: як структуротворювачів (загусників), що викликають збільшення реологічних параметрів; розріджувачів (диспергаторів), що не допускають надмірного збільшення в'язкості та структурних параметрів; флокулянтів, що викликають утворення пухких пластоподібних агрегатів (флокул) з дрібних колоїдних частинок дисперсної фази. За рахунок таких різноманітних хімічних, фізичних і теплофізичних властивостей [2-4] ВРП отримали широке застосування у харчовій, фармацевтичній, гірській, текстильній, паперовій промисловостях та будівництві, сільському господарстві, нафто-газовидобуванні, очищенні забруднених промислових стічних вод, стабілізації ґрунтів тощо [5-8].

Новим напрямком застосування ВРП є приготування рідких теплоакуючих матеріалів, що застосовуються в ємкісних теплових акумуляторах [9,10]. Акумулятори теплоти або системи теплового акумулювання (TES) [11,12] забезпечують стабільну роботу системи теплопостачання. Особливого значення теплові акумулятори набувають при використанні у якості джерела теплоти відновлювальних джерел енергії, оскільки дозволяють стабілізувати їх роботу. Використання розчинів ВРП спрямоване на отримання якісних продуктів та зменшення їх собівартості, зниження витрат енергії та екологічну безпеку.

Однак, технології приготування ВРП мають такі недоліки:

- тривалий час приготування;

- нерівномірність консистенції ВРП;
 - складність проведення технологічного процесу - виникає значне налипання та комкування внаслідок значних адгезійних властивостей сухих речовин.

Тому актуальним є питання вдосконалення наявних методів приготування ВРП для зменшення енергетичних виробничих витрат. Вирішення цих складнощів позитивно впливає на економію паливно-енергетичних ресурсів, а саме: зменшення витрат на електричну енергію. Відбувається скорочення шкідливих викидів у оточуюче середовище. Це призводить до зменшення собівартості виробництва та підвищення якості кінцевого продукту, а також дозволить вивести нові конкурентоздатні продукти й обладнання на ринок України. Пропонується використання універсального мобільного технічного комплексу, який можна застосовувати як стаціонарно на постійно діючому підприємстві, так і безпосередньо на об'єктах теплоенергетики, нафтогазових джерелах, будівельних майданчиках, для очищення забруднених вод та ін.

Метою даної роботи є проведення аналізу та обґрунтування створення мобільного технологічного комплексу для отримання водорозчинних полімерів, а саме: рідинних теплоаккумуляційних матеріалів, енергоефективних теплоносіїв та ін.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати хімічні та фізичні властивості багатофункціональних порошків, на основі яких готуються ВРП, провести аналіз літературних джерел стосовно технологій та режимів замішування при виробництві дисперсних систем та колоїдних розчинів на основі водорозчинних полімерів і запропонувати послідовність технологічних процесів, що дозволять якісно, швидко і енергоефективно провести приготування ВРП.

Хімічні та фізичні властивості багатофункціональних порошків. Розглянемо хімічні та фізичні властивості деяких багатофункціональних порошків на прикладі полісахаридів, що широко використовуються у перерахованих вище галузях [13,14].

Карбоксиметилцелюлоза (Carboxymethylcellulose, КМЦ, целюлозогліколева кислота) — полімер, продукт переробки целюлози загального складу $[C_6H_7O_2(OH)_3-x(OCH_2COOH)_x]_n$ (де $x = 0,08—1,5$). У молекулі карбоксиметильна група $(-CH_2-COOH)$ поєднується гідроксильними групами глюкозних мономерів, рисунок 1.

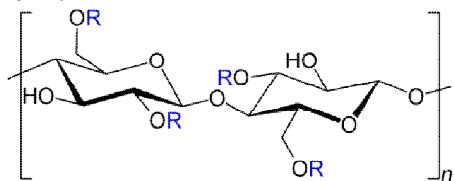


Рис.1 – Карбоксиметилцелюлоза [15]

целюлоза не розкладається під дією сонячного світла, не розчиняється в рослинних і тваринних маслах [16-18]. КМЦ розчиняється в органічних кислотах: мурашиній, молочній, крижаній оцтовій. У розчинах мінеральних кислот відбувається гідролітична деструкція метилцелюлози (МЦ) з глікозидних зв'язків із збереженням метоксильних груп. Насправді для отримання істинних розчинів МЦ спочатку замочують у гарячій воді (80-85 °С) для рівномірності змочування всіх частинок і згодом додають холодну воду. У разі підвищення температури в'язкість розчинів МЦ зменшується. Але при досягненні деякої температури відбувається розшарування фаз або утворення гелю.

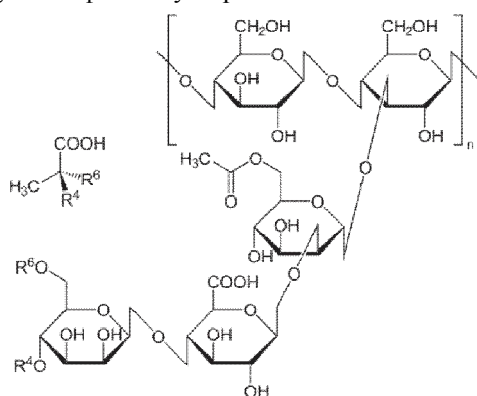


Рис. 2 – Камедь ксантана [19]

щільну структуру, довгостроково стабілізує харчові продукти та подовжує термін їх. Завдяки цим властивостям використовується у виробництві соусів, молочних продуктів, морозива, десертів, хлібобулочних виробів, напоїв та ін.

Карбоксиметилцелюлоза, натрійкарбоксиметилцелюлоза (харчова добавка E466) - безбарвна аморфна речовина, слабка кислота, за своєю хімічною природою є високополімерний іонний електроліт. Карбоксиметилцелюлозу отримують як результат реакції монохлорцетової кислоти з алкілцелюлозою, яку, у свою чергу, отримують з целюлози та каустичної соди. Карбоксиметилцелюлоза може бути генетично модифікована. Вона розчиняється у воді, не має запаху і безпечна у використанні. Карбоксиметилцелюлоза

Камедь ксантана або ксантанова камедь $(C_35H_49O_{29})_n$ — природне хімічне з'єднання, харчова добавка E415. Відноситься до групи стабілізаторів у харчовій промисловості. Ксантанова камедь - вуглеводневий полімер з високою молекулярною масою, лінійний поліцукрид, рисунок 2. Молекулярну масу й властивості ксантану можна регулювати, змінюючи умови життєдіяльності мікроорганізмів *Xanthomonas campestris*.

Розчин ксантану відзначається стійкістю до дії кислот (окрім соляної) та лугів, високих (до 120°C) та низьких (до -18°C) температур, спиртів та ферментів. Для ВРП на основі ксантанової камеді характерні високі значення в'язкості в діапазоні рН в межах від 2 до 12. Тому ВРП на основі камеді ксантана формує

Камедь гуарова ((C₆H₁₀O₅)_n) – порошок білого або жовтуватого кольору з характерним запахом. Його отримують із меленого ендосперму насіння гуарових бобів. Насіння містить до 70 % камеді (вищого полісахариду – галактоманнану). Молекулярна маса гуарової камеді >20000 [21].

Камедь гуарову використовують як стабілізатор, загусник або як засіб для капсулювання. Основною перевагою природних рослинних полісахаридів є низька вартість, проте їх технологічні показники невисокі, що звужує сферу застосування. Тому використовують хімічно модифіковані похідні целюлози, крохмалю і гуару, що мають комплекс необхідних технологічних властивостей.

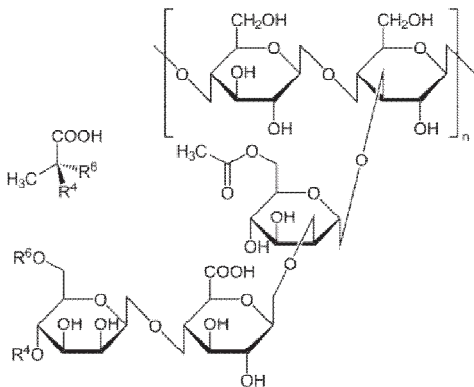


Рис. 3 – Камедь гуарова [20,13]

Розроблений на початку 1970-х років гідроксипропілгуар (HPG) стає найбільш широко використовуваним загусником технологічних рідин. HPG отримують реакцією пропіленоксиду з молекулою гуара, що дозволяє отримати більш в'язкий і стійкий до дії високих температур полімер. Продукти гуара зазвичай мають негідратуючий залишок у межах 8-12 %, HPG – 1-4 % [7].

Літературний аналіз технологій та режимів розчинення ВРП. Як відомо [22,23], найкращим і найбільш розповсюдженим розчинником є вода. Вода використовується у майже всіх наявних технологічних процесах на різних етапах. Але при проведенні процесу розчинення необхідно враховувати не лише фізико-хімічні та мікробіологічні показники, а й відомі аномалії води [24-26].

Метод розчинення КМЦ та параметри перемішування (зсув) у процесі розчинення визначають кінцеву в'язкість розчину. Розчинник, хімічний склад КМЦ та сила зсуву при перемішуванні готового розчину відбиваються на характеристиках розчинення КМЦ, таких як гідратації молекул КМЦ. Тобто для контролю в'язкості кінцевого розчину необхідно суворо дотримуватися необхідних умов розчинення КМЦ.

Важливою особливістю розчинення КМЦ є швидке намокання всіх частинок перед початком збільшення в'язкості. КМЦ за своєю природою є гідрофільною речовиною, тобто частинки КМЦ мають миттєво розчинятися при диспергуванні у воді. Обладнання, що використовується для перемішування, має бути досить ефективним для підтримки всього об'єму рідини в стані руху, щоб уникнути утворення грудок та згустків. Міксер повинен створювати потужний нижній потік у центрі змішувального танка і КМЦ повинна вноситися у вирву, утворену пристроєм, що перемішує.

Якщо нагрівання можливе, рекомендованою температурою приготування розчину КМЦ є 50-60 °С. Швидкість розчинення КМЦ залежить від розміру частинок. Порошок дрібного розміру розчиняється значно швидше, в даному випадку забезпечується гідратація кожної окремої частинки і грудки не утворюються.

Метилцелюлоза (МЦ) при розчиненні в лугах та деяких кислотах не потребує особливих умов, але для отримання водного розчину спочатку отримується високонцентрований розчин способом замочування порошку в гарячій воді (80-85 °С) для змочування всіх частинок, а потім додається холодна вода до утворення розчину необхідної концентрації.

Водорозчинні полімери розчиняються у воді, однак слід вжити заходів, щоб гарантувати їх повне розчинення.

Найбільш важливий етап усієї процедури розчинення полімерів відбувається в перші кілька секунд, коли індивідуальні частинки полімеру відокремлюються одна від одної.

У воді ВРП миттєво змочуються, однак у випадку нерівномірного диспергування відбувається часткове розчинення, змочені частинки склеюються в агломерати і утворюють гелі, які не вдається розчинити потім.

Високошвидкісного перемішування розчинених полімерів слід уникати, щоб запобігти деградації полімеру від зсуву. Органічні розчинники - з огляду на їх нижчу полярність - сольватують (змочують) повільніше, ніж вода. Завдяки цьому при розчиненні полімерів в органічних розчинниках зазвичай не виникає проблеми агломерації та гелеутворення.

Для заводських чи лабораторних вимог існує три основні категорії методів:

- додавання безпосередньо у воду;
- попереднє диспергування у водорозчинній речовині, що не розчиняє полімер;
- використання механічних пристроїв, які забезпечують диспергування з мінімальним зсувом.

Вибір використовуваної методики залежить від кінцевої в'язкості та необхідного обсягу.

Способи розчинення ВРП відрізняються в залежності від властивостей сухих речовин, тому при розробці універсального ТК необхідно враховувати можливість використання додаткового підігріву, зміни швидкості режимів перемішування та часу протікання процесу, можливості забезпечити поступову постадійну зміну концентрації розчину.

Технологічний комплекс для виробництва дисперсних систем та колоїдних розчинів. Аналізом літературних джерел [23, 25-27] визначено, що технологічний процес виготовлення розчинів на основі водорозчинних полімерів передбачає великі витрати електричної енергії на процес розчинення порошків. Запро-

понований спосіб інтенсифікації процесу змішування та зменшення споживання електричної енергії досягається шляхом використання активованої води та додаткового етапу перемішування розчину.

Мобільний технологічний комплекс передбачає на початковому етапі використання оригінального магнітного міксеру для проведення попередньої активації води та якісного замішування ВРП, а наприкінці – модернізованого реактора-змішувача для додаткового перемішування розчину. Основні засоби технологічного оснащення та елементи виробничої лінії ТК представлені на рисунку 4.

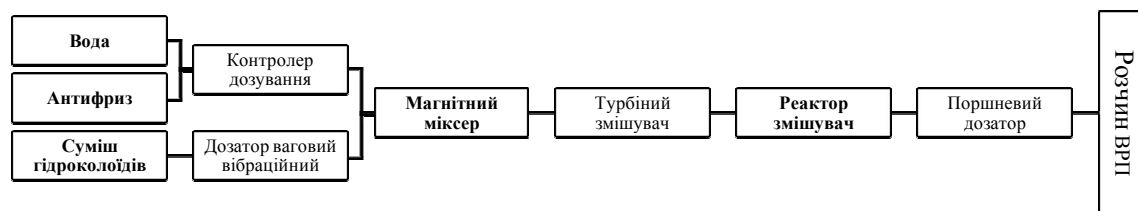


Рис. 4 – Основні засоби технологічного оснащення та елементи виробничої лінії технологічного комплексу

Використання трьох етапів змішування економить витрати електроенергії за рахунок зменшення часу розчинення порошкової суміші та розділення режимів перемішування.

На першому етапі використовується магнітний міксер, що передбачає попереднє замішування суміші порошків (надалі суміші) в активованій рідині-розчиннику.

Другий етап – турбінний змішувач, використовується для інтенсивного розмішування та перемішування двох і більше розчинів, отриманих в результаті змішування компонентів на першому етапі.

Третій етап – реактор-змішувач є додатковим способом перемішування розчину під час зберігання готового продукту та очікування його використання.

Методика використання МТК для розчинення проводиться наступним чином:

1. За необхідним відсотковим значенням розчину та об'ємом готової продукції попередньо визначається співвідношення маси суміші та об'єму рідин.

2. Задаються значення на контролери дозування суміші та рідин-розчинників, встановлюється час проведення кожного етапу перемішування:

2.1 Активування рідини за допомогою магнітного міксеру.

2.2 Додавання сухої суміші ВРП та попереднє перемішування протягом заданого часу.

2.3 Основне (ключове) перемішування попереднього замішених розчинів турбінним змішувачем до повного розчинення та протягом заданого часу.

2.4 Додаткове перемішування готового розчину протягом всього часу до його використання або відведення.

3. Застосування готового розчину.

Для адекватного використання МТК необхідно знати діапазон оптимальних концентрацій речовин, розрахувати оптимальний час та режими перемішування, попередньо визначити швидкість внесення компонентів та температурні характеристики ВРП, що вносяться.

Розглянемо три методи розчинення ВРП.

1. Гаряче розчинення. Воду необхідно нагріти до температури близької температурі кипіння ($\approx 97^\circ\text{C}$). На стінках ємності вище за рівень води часто спостерігається конденсація пари. Якщо це відбувається, може статися небажане осідання на стінки порошку сухих речовин ВРП. Щоб уникнути цього, майже киплячу воду слід енергійно перемішувати для створення вирви (500 – 600 об/хв). Під час перемішування рівень води підніметься ближче до верху ємності. При цьому зменшиться або зникне конденсація на стінках ємності. Після інтенсивного перемішування протягом хвилини швидкість слід зменшити до 50–60 об/хв. Потім вимикають джерело нагрівання, а перемішування продовжують зі швидкістю 50 – 60 об/хв.

2. Повне розчинення. Ця методика підходить для розчинення невеликого чи середнього об'єму у випадках, коли є лише мінімальне обладнання для перемішування. У цьому випадку відбувається диспергування ВРП у рідинах, що змішуються з водою, але не розчиняють сухі речовини ВРП, відокремлюючи індивідуальні частинки полімеру одну від одної. При додаванні води кожна окрема частинка має можливість набухнути, гідратувати та після цього розчинитись. При цій методиці вдається уникнути комкування, яке може відбуватися при використанні води.

3. Застосування для розчинення спиртів або гліколіз. Це надає додаткову перевагу, зменшуючи падіння в'язкості розчину, оскільки ці розчинники є стабілізаторами в'язкості розчину.

Більшість методів попереднього диспергування відбувається в рідинах, що змішуються з водою, але не розчиняють полімер. Таке розчинення ВРП можливе для великих партій при серійній підготовці розчинів. Для зручності у заводських умовах попереднє диспергування виконується у сумішевому реакторі. Потім до диспергованого водорозчинного полімеру у реактор додається необхідна кількість води.

Додавання солей до води знижує розчинність полімерів. У таких сольових або лужних розчинах також відбувається поділ частинок, подібний до описаного в попередній методиці. Розчинення полімеру відбувається при розведенні цих розчинів водою.

Обидва методи - застосування попереднього диспергування в рідинах, що змішуються з водою, але не розчиняють полімер, і диспергування у водних розчинах солей і лугів - корисні для розчинення полімеру як у дрібних, так і у великих обсягах.

Обговорення. Можливим і перспективним напрямком заощадження паливно-енергетичних ресурсів є використання теплоаккумуляційних матеріалів на основі ВРП. Наявність систем накопичення теплової енергії (TES) забезпечує безперебійне тепlopостачання житлових, адміністративних і промислових об'єктів.

За оцінками експертів, в Європі потенціал енергозберігання за допомогою широкого використання акумуляторів теплоти й холоду складає близько 1,4 млн. ГВт·год енергії за рік, що дає змогу скоротити на 400 млн. тон викиди CO₂ за рахунок широкого використання акумуляторів тепла і холоду. TES класифікують за призначенням та температурою збереження теплової енергії. Типові параметри для систем TES показані в таблиці, включаючи потужність, ефективність, період зберігання та вартість. Очевидно, водні розчини ВРП мають привабливу продуктивність, широкий діапазон потужності, високу ефективність та доступну вартість. Питома теплоємність розчинів ВРП приблизно на 30 % вище, а інвестиційні витрати не перевищують 10 % у порівнянні зі звичайною водою.

Таблиця 1

Основні параметри для зберігання TES

TES	Продуктивність системи TES, кВт·год/тн	Потужність, МВт	Ефективність, %	Час зберігання	Вартість періоду зберігання, €/кВт·год
Гаряча вода	10–50	0,001–10,0	50–90	доба/міс.	0,1 – 10
ВРП	30 – 65	0,001–10,0	75 - 90	годин/доба	0,1 – 10
Матеріал з фазовим переходом (PCM)	50–150	0,001–1,0	75–90	годин/міс	10 – 50
Хімічні реакції	120–250	0,01–1,0	75 – 100	рік/доба	8 –100

Висока щільність зберігання енергії і висока потужність для зарядки та розрядки є важливими властивостями будь-якої системи зберігання. Найбільш ефективна акумуляція досягається при використанні теплоти фазових перетворень чи теплоти хімічних реакцій (утворення та розпаду кристалогідратів солей). Найменш ефективною є акумуляція при використанні тільки теплоємності речовини, зміни її ентальпії зі зміною температури без фазових перетворень [10]. Розчини ВРП створюють в об'ємі води аморфні трьохмірні структури на кшталт кристалогідратів, що пояснює ефективність їх використання.

Запропонований МТК для отримання розчинів ВРП дозволить використовувати технологічні властивості гідроколідів, що вплине на розширення сфери їх використання при розробці інноваційних теплоносіїв і ТАМ.

Висновки. Застосування МТК дозволить отримати наступні практичні результати для промисловості України:

- Розширити галузі використання ВРП шляхом отримання та впровадження нових композиційних рідинних ТАМ для збереження енергії та енергоефективних теплоносіїв. Економічний ефект полягає в скороченні часу на отримання готового продукту, в залежності від складу і якості порошку, що розчиняється. Також зменшуються витрати електричної енергії в діапазоні від 15 до 65 % на виробництво 1 кілограма готової продукції.
- Застосування МТК надає можливість ощадливого використання викопних та біологічних видів палива, що позитивно впливає на підвищення екологічної безпеки оточуючого середовища.
- При виготовленні обладнання з уніфікованих вузлів значно спрощується технологія виробництва, що зменшує вартість кінцевого продукту. Таким чином, забезпечується конкурентоздатність нової концепції при появі аналогів на ринку.

Використання в суспільній практиці результатів впровадження МТК надають можливість збільшення загальної ефективності і підвищення надійності, економії енергії та екологічну безпеку. На ринку з'являться обладнання та матеріали, які не мають вітчизняних та закордонних аналогів. Відбудеться впровадження ресурсозберігаючих технологій в теплоенергетиці.

Використання МТК забезпечує конкурентоздатність нової концепції, створення та/або збереження робочих місць, можливість поповнення дохідної частини бюджету України. Попередні розрахунки свідчать

про швидку окупність капіталовкладень (рентабельність від 20 %, термін окупності варіюється в межах від 1,5 до 2 років) та доступність дешевих державних і іноземних інвестицій в енергетично ефективний проект.

Наука має можливість реалізувати сучасні енергоефективні розробки при створенні нових технологій і матеріалів на основі ВРП, отримати цільову державну підтримку розробок, пов'язаних зі створенням екологічних енергоефективних технологій.

References

1. Vodorozchynnyy polimer [Water-soluble polymer]. Retrieved from [Водорозчинний полімер - Сторінки \[1\] - Всесвітній енциклопедичні знання \(swewe.net\)](#) [in Ukrainian]. (2022, July, 14)
2. Barabanov V.P., Krupin S.V. (1984). *Vodorastvorimyye polimery i ikh primeneniye* [Water-soluble polymers and their application]. Kazan KKHTI. [in Russian]
3. Pertsevoy F.V., Bidyuk D.O., Koshel' O.YU. (2018). Analitichne obgruntuvannya ta vybir binarnoyi kombinatsiyi polisakharydiv dlya termostiyykh molokovmisnykh nachynok [Analytical substantiation and selection of a binary combination of polysaccharides for heat-resistant milk-containing fillings]. *Prohresyyni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnystv restorannoho hospodarstva i torhivli* [Progressive equipment and technologies of food production, restaurant industry and trade], 1, 122-133. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2018_1_11 [in Ukrainian]. (2022, July, 14)
4. Demchenko V.G., Konyk A.V. (2020) Research of heat accumulation capacity binary water systems. Retrieved from. *Iosr journal of applied chemistry (iosr-jac)*, Retrieved from <https://doi.org/10.9790/5736-1306010107> [in English]. (2022, Juny, 10)
5. Kir'yanova A. A., Koretskaya I. L. (2009) Ispol'zovaniye gidrokolloidov v proizvodstve konditerskikh izdeliy [The use of hydrocolloids in the production of confectionery]. *Khlebopekarskoye i konditerskoye delo* [Bakery and confectionery business], 4, 33–40. [in Russian]
6. Kholmberg K., Yyësson B., Kronberg B., Lindman B. (2009) Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva i polimery v vodnykh rastvorakh [Surfactants and polymers in aqueous solutions]. M.: BINOM. Laboratoriya znaniy [BINOM. Knowledge Laboratory]. [in Russian]
7. Lykov O.P., Nizova S.A., Tolstykh L.I. (2007) Khimicheskiye reagenty neftegazovoy otrasli Svoystva, primeneniye. Ekologiya. Uchebnoye posobiye [Chemical reagents for the oil and gas industry. Properties, application. Ecology. Tutorial]. M.: FGUP izd-vo «Nef't' i gaz» RGU nef'ti i gaza im. I.M. Gubki-na [M.: FSUE publishing house "Oil and Gas" Russian State University of Oil and Gas. THEM. Sponges-na]. [in Russian]
8. Bashkatova S.T., Kazanskaya A.S., Vinokurov V.A. (2005) Teoreticheskiye osnovy ispol'zovaniya polimerov v neftegazovoy otrasli. Uchebnoye posobiye [Theoretical foundations for the use of polymers in the oil and gas industry. Tutorial]. – M.: FGUP izd-vo «Nef't' i gaz» RGU nef'ti i gaza im. I.M. Gubkina [M.: FSUE publishing house "Oil and Gas" Russian State University of Oil and Gas. THEM. Sponges-na]. [in Russian]
9. E. Gracia Oró, A.de, Castell A., Farid M.M., Cabeza L.F. (2012) Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications *Appl Energy*, no. 99, 513 – 533. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.058> [in English]. (2022, July, 14)
10. Du, K., Eames, P., Kaiser, J., Calautit, S., Wu, Y. (2020). A state-of-the-art review of the application of Phase Change Materials (PCM) in Mobilized-Thermal Energy Storage (M-TES) for recovering lowtemperature Industrial Waste Heat (IWH). *Renewable Energy*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.057> [in English]. (2022, July, 14)
11. Dincer, I., Rosen M. (2002). *Thermal Energy Storage: Systems and Applications*, Wiley [in English].
12. Dincer, I., Rosen, M.A. (2010). *Thermal Energy Storage: Systems and Applications*, 2nd Edition, Wiley; ISBN: 978-0-470-74706-3. 620. [in English].
13. Filinska T. G., Chervakov O. V., Filinska A. O. (2017) Food polysaccharides: production, properties, use: education. manual. Dnipro: UDKhTU [in Ukrainian]
14. Voytsitskiy V. M., Danchuk V.V., Khizhnyak S.V., Samkova O.P., Ushkalov V.O. (2016). Safety and risks of food additives, Kyiv: Comprint [in Ukrainian]
15. Karboksimetiltselyuloza [Carboxymethylcellulose]. Retrieved from [Кarboksиметилцелюлоза — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](#) [in Ukrainian]. (2022, July, 14)
16. E466 – Karboksimetiltselyuloza. Vse o Ye-dobavkakh i sostave produktov [E466 - Carboxymethylcellulose. All about E-additives and the composition of products]. Retrieved from <https://dobavkam.net/additives/e466> [in Russian]. (2022, July, 14)
17. Rogovin 3. A. (1972) Khimiya tsellyulozy [Chemistry of cellulose]. Moscow. [in Russian]
18. (1974) Tsellyuloza i yeyë proizvodnyye [Cellulose and its derivatives], t. 1-2. Moscow. [in Russian]
19. Ksantanova kamed' [Xanthan gum]. Retrieved from [Ксантанова камедь — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](#) [in Ukrainian]. (2022, July, 14)
20. Huarova kamed' [Guar gum]. Retrived from [Гуарова камедь — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](#) [in Ukrainian]. (2022, July, 14)
21. Huars'ka humka (huars'ka humka) [Guar gum (guar gum)]. Retrieved from <https://atk-ua.com/catalog/guarovaya-kamed-/> [in Ukrainian]. (2022, July, 14)

22. Frog B.N. (2001) Vodopodgotovka [Water treatment]. M.: MGU. [in Russian]
23. Shuleykin V.V. (1968) Fizika morya [Physics of the sea]. M.: Nauka. [in Russian]
24. (1985) Voda i vodnyye rastvory pri temperaturakh nizhe 0°C [Water and aqueous solutions at temperatures below 0°C]. K.: Naukova dumka. [in Russian]
25. (1980) Voda v pishchevykh produktakh [Water in food]. M.: Pishchevaya promyshlennost' [M.: Food industry]. [in Russian]
26. Slanik A. V. (2006) Vykorystannya mekhanizmiv dyskretno-impul'snoho vvedennya enerhiyi dlya obrobky vody: dys. kand. tekhn. nauk [The use of discrete-pulse energy input mechanisms for water treatment: dissertation]. NAN Ukrainy, In-t tekhn. teplofizyky [National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Technology thermophysics], 05.14, 192-203. [in Ukrainian].
27. Nikolayev A.F., Okhrimenko G.I. (1979) Vodorastvorimyie polimery [Water soluble polymers]. L.: Khimiya [L.: Chemistry]. [in Russian]

MOBILE TECHNOLOGY COMPLEX FOR THE PREPARATION OF WATER-SOLUBLE POLYMERS

Demchenko V.G., PhD, Konyk A.V., PhD, Khomenko M.

Institute of Technical Thermophysics the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Abstract. *The economic situation in Ukraine is dynamically regressing under martial law and needs an immediate reduction in energy costs in everyday life and industry. The introduction of new efficient technologies and equipment that can intensify technological processes will help reduce energy costs and obtain new energy-efficient equipment. This article proposes the use of a mobile technological complex for the production of dispersed systems based on water-soluble polymers.*

The article considers the formation of water-soluble polymers based on dry substances of guar and xanthan gum and carboxymethylcellulose (WSP). Such water-soluble polymers, in addition to high technological characteristics, have significant adhesive properties, which greatly complicates the process of their production.

WSP is widely used in food, pharmaceutical, mining, textile, paper and construction industries, agriculture, oil production, industrial wastewater treatment, soil stabilization, etc. A new area of application of WSP is the preparation of liquid heat storage materials used in thermal energy storage (TES) and ensuring stable operation of the heat supply system.

However, with widespread use, several negative technological phenomena cause significant energy costs to obtain a homogeneous solution. To overcome these negative factors, the use of a mobile technological complex is proposed, which makes it possible to obtain a high-quality homogeneous water-soluble polymer both in the laboratory and industrial production conditions.

The operation of the mobile technological complex is based on the three-stage mixing of the components in a certain sequence, which is due to the chemistry of the process of dissolving solids. The mobile technological complex provides for the use of an original magnetic mixer at the initial stage for pre-activation of water and high-quality mixing of the WSP, and at the end of a modernized mixing reactor for additional mixing of the solution.

The main effect from the introduction of a mobile technological complex is a reduction in the cost of the final product and the time of the technological process, which leads to a decrease in the consumption of energy resources in mixing processes, an increase in productivity, and a reduction in the specific energy intensity of production.

Keywords: mobile technological complex, water-soluble polymers, energy efficiency.

Список використаної літератури

1. Водорозчинний полімер - Сторінки [1] - Всесвітній енциклопедичні знання. Всесвітній енциклопедичні знання. URL: http://uk.swewe.net/word_show.htm/?67693_1&Водорозчинний_полімер (дата звернення: 09.12.2022).
2. Баранов В.П., Крупин С.В. Водорастворимые полимеры и их применение. Казань, КХТИ, 1984. 80с.
3. Перцевой Ф.В., Бідюк Д.О., Кошель О.Ю. Аналітичне обґрунтування та вибір бінарної комбінації полісахаридів для термостійких молокозмісних начинок. Прогресивна техніка та технологія харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2018. 1, С. 122-133. Отримано з http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2018_1_11 (дата звернення: 09.12.2022)
4. Demchenko V.G., Konyk A.V. Research of heat accumulation capacity binary water systems. Retrieved from. Iosr journal of applied chemistry (iosr-jac). URL: DOI: 10.9790/5736-1306010107 (дата звернення: 09.12.2022)
5. Кирьянова А. А., Корецкая И. Л. Использование гидроколлоидов в производстве кондитерских изделий. Хлебопекарское и кондитерское дело. 2009. 4, 33–40.
6. Холмберг, Б. Йёссон, Б. Кронберг, Б. Линдман. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. Москва: Лаборатория знаний. 2020. 531 с.

7. Лыков О.П., Низова С.А., Толстых Л.И. Химические реагенты нефтегазовой отрасли. Свойства, применение, экология. Москва: ФГУП издательство «Нефтигаз» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. 2007.
8. Башкатова С.Т., Казанская А.С., Винокуров В.А. Теоретические основы использования полимеров в нефтегазовой отрасли. Теоретические основы применения полимеров в нефтяной и газовой промышленности. Руководство. Москва: ФГУП изд-во «Нефтигаз» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. 2005.
9. Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications / E. Oró et al. Applied Energy. 2012. Vol. 99. P. 513–533. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.058> (date of access: 09.12.2022).
10. A state-of-the-art review of the application of Phase Change Materials (PCM) in Mobilized-Thermal Energy Storage (M-TES) for recovering low-temperature Industrial Waste Heat (IWH) for distributed heat supply / K. Du et al. Renewable Energy. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.057> (date of access: 09.12.2022).
11. Dincer I., Rosen M. A. Thermal Energy Storage: Systems and Applications. Wiley, 2002. 579 p.
12. Dincer I., Rosen M. A. Thermal Energy Storage: Systems and Applications. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2011. 620 p.
13. Філінська Т. Г., Черваков О. В., Філінська А. О. Харчові полісахариди: виробництво, властивості, використання. Освіта. Посібник. Дніпро: УДХТУ. 2017. 253 с. ISBN 978-966-8018-98-5
14. Войціцький В. М., Данчук В. В., Хижняк С. В., Самкова О. П., Ушкалов В. О. Безпека та ризики харчових добавок. Київ: Компрінт. 2016. 174 с. ISBN 978-966-929-373-2
15. Учасники проєктів Вікімедіа. Карбоксиметилцелюлоза – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Карбоксиметилцелюлоза> (дата звернення: 09.12.2022).
16. Е466 – Карбоксиметилцелюлоза | Добавкам.нет. Добавкам.нет - Все о Е-добавках и составе продуктов. URL: <https://dobavkam.net/additives/e466> (дата звернення: 09.12.2022).
17. Роговин З. А. Химия целлюлозы. Москва. Химия. 1972. 520с.
18. Байклз Н., Сегал Л. Целлюлоза и ее производные. Москва. 1974. 512с
19. Учасники проєктів Вікімедіа. Ксантанова камедь – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ксантанова_камедь (дата звернення: 09.12.2022).
20. Учасники проєктів Вікімедіа. Ксантанова камедь – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ксантанова_камедь (дата звернення: 09.12.2022).
21. Гуаровая камедь (Гуаровая смола) | atk-ua.com. Химические реактивы, химсырье, техническая химия крупным и мелким оптом | АТК-Украина. URL: <https://atk-ua.com/catalog/guarovaya-kamed-/> (дата звернення: 09.12.2022).
22. Фрог Б.Н. Водоподготовка. Москва. МГУ. 2001. 680с
23. Шулейкин В.В. Физика моря. Москва. Наука. 1968. 1090с.
24. Косевич М.В. Вода и водные растворы при температуре ниже 0°C. Киев. Наукова думка. 1985.
25. Дакурт Р.Б. Вода в пищевых продуктах. Москва. Пищевая промышленность. 1980. 810с.
26. Сланік А. В. (2006) Використання механізмів дискретно-імпульсного введення енергії для обробки води: дис. канд. техн. Використання дискретно-імпульсних механізмів підведення енергії для підготовки води: дис. НАН України, Ін-т техн. теплофізики НАН України, Інститут технологічної теплофізики. Київ, № 05.14, 192-203.
27. Николаев А.Ф., Охрименко Г.И. Водорастворимые полимеры. Ленинград. Химия. 1979. 144с

Отримано в редакцію 07.06.2022

Received 07.06.2022

Прийнято до друку 29.09.2022

Approved 29.09.2022