

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

К. В. Бауман, І. В. Коц

**КАВІТАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 665.775.5

ББК 38.37

Б 29

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 25 квітня 2013 р.)

Рецензенти:

І. П. Паламарчук, доктор технічних наук, професор

В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор

Бауман, К. В.

Б 29 Кавітаційна технологія виготовлення бітумних емульсій : монографія / К. В. Бауман, І. В. Коц. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с.
ISBN 978-966-641-545-8

Розглянуто питання розробки нової технології виготовлення бітумних емульсій на основі застосування кавітаційних процесів. Обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість одержання емульсій, згідно з запропонованою технологією. Розроблено відповідне технологічне обладнання та встановлені оптимальні параметри й закономірності вибору вхідного тиску в потоці сировини, її температури, конструктивних співвідношень елементів вузла емульгування, що дозволяють отримувати емульсії із наперед заданими фізико-хімічними властивостями, згідно з технологічними вимогами державних будівельних стандартів України. Для студентів, аспірантів та науковців у галузі будівництва та технології будівельного виробництва.

УДК 665.775.5

ББК 38.37

ISBN 978-966-641-545-8

© К. Бауман, І. Коц, 2013

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕМУЛЬСІЙ БІТУМНИХ ДОРОЖНІХ	8
1.1 В'язучі на основі бітуму та напрямки їх застосування у будівництві.....	8
1.2 Основні фізико-механічні властивості бітумних емульсій та вимоги до їх якості	10
1.3 Процес утворення бітумних дорожніх емульсій і сучасні технології та устаткування для їх приготування	15
1.4 Аналіз існуючого кавітаційного обладнання в технологічних процесах виготовлення емульсій в різних галузях промисловості.....	21
1.5 Аналіз відомих теоретичних та експериментальних досліджень робочих процесів у кавітаційних диспергатора.....	25
2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ НОВИХ ПРИНЦИПОВИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ БІТУМНИХ ДОРОЖНІХ.....	31
2.1 Основні вимоги та критерії до вибору принципів та конструктивних схем устаткування для приготування бітумних емульсій	31
2.2 Принципові та конструктивні схеми устаткування для приготування емульсій бітумних дорожніх.....	32
2.3 Синтез промислової технологічної установки для приготування бітумних емульсій з наперед заданими властивостями.....	38
3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ НА ЗАПРОПОНОВАНОМУ УСТАТКУВАННІ	44
3.1 Мета та задачі теоретичного дослідження робочого процесу приготування емульсій бітумних дорожніх на запропонованому устаткуванні. Основні припущення.....	44
3.2 Теоретичні основи попереднього змішування складових компонентів емульсії.....	46
3.3 Кінетика утворення бітумної емульсії в кавітаційному диспергаторі запропонованої установки для приготування бітумних емульсій.....	52

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ	60
4.1 Мета та задачі досліджень. Об'єкт досліджень	60
4.2 Основні характеристики сировини для виготовлення бітумної дорожньої емульсії.....	68
4.3 Методика експериментальних досліджень і оцінка точності вимірювань	70
4.4 Планування багатофакторного експерименту	72
4.5 Результати експериментальних досліджень	77
4.6 Випробування отриманої продукції – бітумної емульсії на відповідність вимогам	82
4.7 Експериментальне дослідження процесу попереднього змішування компонентів емульсії.....	86
4.8 Математична модель оцінки технологічного процесу приготування бітумних емульсій при використанні кавітаційної технології емульгування дорожнього бітуму	92
 5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ БІТУМНИХ ДОРОЖНІХ ЕМУЛЬСІЙ У ВИРОБНИЦТВО	 102
5.1 Методика інженерного розрахунку раціональних конструктивних та технологічних параметрів устаткування для приготування бітумних емульсій	102
5.1.1 Тепловий розрахунок кавітаційного устаткування для приготування бітумних дорожніх емульсій	102
5.1.2 Гідравлічний розрахунок кавітаційного устаткування для приготування бітумних емульсій	105
5.2 Технологічна схема приготування бітумних емульсій за допомогою кавітаційного диспергатора.....	107
5.3 Промислове впровадження розробленої технології та устаткування для виготовлення емульсій	109
5.4 Техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження кавітаційної технології у виробництво	111
5.5 Розрахунок собівартості бітумної емульсії, виготовленої на установці, що реалізує кавітаційну технологію емульгування бітуму	112
5.6 Розрахунок економічної ефективності створення кавітаційної технології виготовлення бітумних дорожніх емульсій	114
 ВИСНОВКИ.....	 117
 ЛІТЕРАТУРА	 119

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПАР	поверхнево-активні речовини
ЕА	емульсія аніонна
ЕК	емульсія катіонна
ЕА-Ш	емульсія аніонна швидкорозпадна
ЕК-Ш	емульсія катіонна швидкорозпадна
ЕА-С	емульсія аніонна середньорозпадна
ЕК-С	емульсія катіонна середньорозпадна
ЕА-П	емульсія аніонна повільноозпадна
ЕК-П	емульсія катіонна повільноозпадна
ГЛБ	гідрофільно-ліпофільний баланс
БРТ	блок регулювання температури
РТ	ртутний термометр
РПА	роторно-пульсаційний апарат
КД	кавітаційний диспергатор
ККД	коефіцієнт корисної дії
ЧДД	чистий дисконтний дохід

ВСТУП

Бітум широко відомий загальноприйнятий органічний в'язучий матеріал. Виражені в'язко- та термопластичні властивості, доступність та відносно низька вартість бітуму зумовлюють його попит на ринку будівельних матеріалів і на сьогоднішній день. Але при нормальних умовах бітуми мають високу в'язкість, що ускладнює його використання як в'язучого. Найбільш розповсюджений спосіб зменшення в'язкості бітуму – розігрів до технологічних температур (гарячий спосіб), але він досить енергоємний, отримана продукція має обмежений період використання. Ефективним є також розрідження бітуму спеціальними леткими розчинниками, що мають досить велику вартість та випаровуються за відносно короткий термін. Технологія зниження в'язкості бітуму із застосуванням летких розчинників також має недолік, а саме: леткі сполуки забруднюють навколишнє середовище та підвищують пожежонебезпечність при виконанні робіт. Найбільш ефективним є емульгування бітуму у воді у присутності спеціальних речовин. Виготовлення бітумних емульсій є менш енергоємним способом зниження в'язкості порівняно із гарячим та екологічно безпечним, порівняно із розрідженням за допомогою спеціальних летких розчинників. У більшості промислово розвинутих країн світу все ширшого застосування набувають саме бітумні емульсії. Наприклад, у Франції понад 30 % використовуюваного бітуму перетворюють в емульсії, а в Японії – майже 70.

Використання матеріалів на основі бітумних емульсій в будівництві досить різноманітне: як гідроізоляційний, покрівельний, антикорозійний, ґрунтувальний матеріал, мастика для затирання швів, приклеювальні мастики, шпаклівки, асфальтобетон, бітумно-мінеральні композиції та інше.

Одним із найважливіших чинників, що впливають на якість бітумної емульсії є технологія її виготовлення. Приготування бітумних емульсій вимагає спеціального обладнання, що дозволяє диспергувати взаємонерозчинні рідини, такі як бітум та вода. У переважній більшості існуючих бітумно-емульсійних установок як пристрої емульгування застосовуються колоїдні млини різних модифікацій, в яких складові компоненти вихідної сировини піддаються механічним та гі-

гидродинамічним впливам. Використання колоїдних млинів потребує великих затрат енергії, установки мають велику металоємність та габарити, а тому їх застосування є не досить ефективним і вимагає подальшого вдосконалення.

Одночасно при механічній обробці в речовині акумулюється додаткова енергія – відбувається механічна активація речовини. Механічна активація суттєво впливає на фізико-хімічні властивості отриманої емульсії. Ступінь активації залежить від структури оброблюваної речовини, а також від величини та способу впливу механічних сил, які діють на неї.

Одним з перспективних способів приготування емульсій є кавітаційний. Цей спосіб набув широкого застосування в деяких галузях промисловості, зокрема, в харчовій, хімічній, нафтопереробній та інших. Завдяки гідродинамічним процесам, супутніх кавітації, відбувається ефективно диспергування взаємонерозчинних компонентів емульсії.

Таким чином, **актуальність цієї наукової роботи** полягає у подальшому розвитку, вдосконаленню і підвищенню ефективності технології та технічних засобів, що призначені для приготування бітумних емульсій, за рахунок емульгування бітуму у воді у присутності спеціальних речовин при застосуванні кавітаційного способу диспергування.

Метою роботи є розробка устаткування для кавітаційного способу приготування бітумних емульсій, яке має дистанційну систему керування параметрами диспергування, спрощене конструктивне виконання та мінімальні питомі енерговитрати.

Наукова робота виконана в НДІ гідродинаміки ВНТУ та на кафедрі ТГП Вінницького національного технічного університету.

Автори висловлюють подяку за цінні поради та сприяння в проведенні експериментальних досліджень при розробленні кавітаційного устаткування для приготування бітумних емульсій директору ДП НВЦ «Композит» **Борисенку А. А.**

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕМУЛЬСІЙ БІТУМНИХ ДОРОЖНІХ

1.1 В'язучі на основі бітуму та напрямки їх застосування у будівництві

В'язучі речовини – це речовини, фізико-хімічні процеси в яких, призводять до їх переходу у твердий агрегатний стан. При переході з тістоподібного в каменеподібний стан, в'язучі речовини скріплюють між собою камені або зерна піску, гравію, щебеню та інших матеріалів, що робить їх незамінними у будівництві.

Жодне будівництво не обходиться без неорганічних (мінеральних) будівельних в'язучих (цемент, вапно, будівельний гіпс) – тонкоподрібнених мінеральних речовин, що здатні при перемішуванні з водою, утворювати пластичне тісто, що твердіє до каменеподібного стану. Не менш важливе значення у будівництві належить органічним в'язучим (бітуми, дьогті, природні смоли, клеї, полімери та синтетичні полімерні продукти).

Органічні в'язучі речовини – це високомолекулярні або синтетичні речовини, що здатні набувати рідкої в'язкої консистенції при нагріванні чи при дії розчинників, або вже у первинному стані знаходяться у рідкій в'язкій консистенції та протягом певного часу спонтанно або під дією певних факторів (температури, речовин-затверджувачів) переходять у твердий стан [43].

Органічні в'язучі істотно відрізняються від неорганічних. Вони мають кращі адгезійні властивості, їх міцність на стиск порівнянна із неорганічними матеріалами, а на розтяг і згин – у багато разів вища. Більшість з них є водо- та хімічностійкими. Серед недоліків, властивих цьому класу в'язучих, – міцність органічних речовин падає із підвищенням температури, вони мають низьку термостійкість, більшість з них це горючі речовини [43].

В будівництві органічні в'язучі широко використовуються для влаштування дорожніх покриттів, тротуарів, підлог, виготовлення рулонних мастичних і бітумоемульсійних паст, покрівельних і гідроізоляційних матеріалів. Вони застосовуються для захисту від корозії бетону, металів, а також від радіоактивних випромінювань [19, 68, 84].

Бітум є одним з перших органічних матеріалів, який почали застосовувати у будівництві. Історичні дані свідчать про використання бітумних матеріалів, ще в I тисячолітті до н. е.: «висячі» сади Семіраміди, тунель під Євфратом та інші [43].

Бітум – це складна суміш високомолекулярних вуглеводнів та смолисто-асфальтових речовин. Ідентифікація всіх складових бітуму на сьогодні є досить складною невирішеною задачею. Сировиною для бітуму є залишок після виготовлення паливно-мастильних матеріалів, відбору гудрону та крекінгу фракцій нафти. Серед способів виготовлення: атмосферно-вакумнаперегонка нафти (остаточні бітуми), окиснення нафтових залишків (остаточні бітуми) та змішування залишків, що утворилися після перегонки нафти (компаундовані бітуми) [46].

Бітуму властиві досить виражені в'язко-термопластичні властивості, що й зумовлює його широке застосування як в'язучого в будівництві.

Згідно з [46] бітуми поділяються на: дорожні (будівництво та реконструкція дорожнього покриття), покрівельні (при виготовленні різних видів покрівлі як просочувальний та покрівельний матеріал), ізоляційні (ізоляція трубопроводів від ґрунтової корозії), будівельні (як гідро- та теплоізоляційні матеріали).

Бітум доцільно використовувати при мінімально можливій в'язкості [19, 46]. Розрізняють такі способи розрідження – зменшення в'язкості бітуму [19]: розігрів бітуму до технологічних температур (гарячий спосіб), розрідження в'язких бітумів спеціальними, як правило, леткими розчинниками та емульгуванням бітуму в водній фазі у присутності спеціальних речовин (бітумні емульсії).

Перший спосіб використовується для виготовлення гарячих сумішей з попереднім нагрівом вихідних мінеральних матеріалів чи розливом гарячого бітуму на холодну поверхню при влаштуванні підґрунтовки чи проведенні поверхневої обробки. Цей спосіб має переваги та недоліки. До переваг слід віднести можливість отримання конгломерату (асфальтобетону) з високою міцністю, зокрема, при використанні високов'язких бітумів для доріг з важким та інтенсивним рухом, а до недоліків – витрати енергії на нагрів мінеральних матеріалів при виготовленні гарячих сумішей, обмежений термін застосування гарячої суміші, яка постійно охолоджується і потребує безперервного підігріву до технологічно необхідних температур у різноманітних будіве-

льних процесах. Окрім того, подібна технологія чинить негативний вплив на навколишнє середовище під час усього циклу виконання робіт [19].

В окремих випадках ефективним є також спосіб розрідження бітуму спеціальними леткими розчинниками. Цей спосіб має велику вартість через значну вартість розчинників, що випаровуються за відносно короткий термін. Таким чином, технологія зниження в'язкості бітуму із застосуванням летких розчинників має істотні недоліки, а саме: леткі сполуки забруднюють навколишнє середовище та підвищують пожежонебезпечність при виконанні робіт [19].

Найбільш ефективним є емульгування бітуму у водній фазі у присутності спеціальних речовин. Виготовлення бітумних емульсій таким способом є менш енергоємним порівняно із гарячим способом та екологічно більш безпечним порівняно із способом розрідження бітуму леткими розчинниками. Окрім того, застосування бітумних емульсій забезпечує [19, 61, 84, 100]:

- рівномірне розподілення в'язучого більш тонкими шарами на оброблюваній поверхні;
- хорошу текучість в'язучого;
- отримання спрощеної технології виконання робіт завдяки можливості використання емульсій в охолодженому стані;
- достатньо суттєве зменшення витрати бітуму;
- безпечність використання бітумних емульсій порівняно з в'язкими бітумами;
- виробництво емульсійно-мінеральних сумішей безпосередньо на місці будівництва;
- зниження транспортних витрат на перевезення матеріалів;
- повна реалізація властивостей ПАР (не руйнуються при нагріванні в момент введення в суміш).

1.2 Основні фізико-механічні властивості бітумних емульсій та вимоги до їх якості

Бітумні емульсії є мікрогетерогенними дисперсними стабілізованими системами рідина–рідина [84]. Основні складові компоненти емульсії: бітум та вода.

В залежності від того, який з компонентів є дисперсним середовищем розрізняють прямі (типу «олія в воді» рис. 1.1.) та обернені емульсії (типу «вода в олії» (рис. 1.2.). В прямих емульсіях краплини дисперсної фази – бітуму оточені дисперсним середовищем – водою. В обернених емульсіях навпаки: бітум – дисперсне середовище, вода – дисперсна фаза [19, 61, 84].

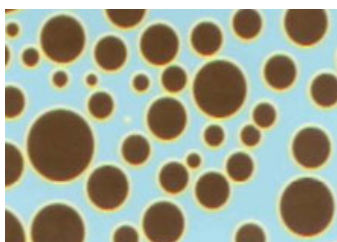


Рисунок 1.1– Емульсія «олія у воді»

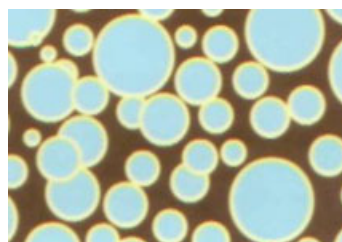


Рисунок 1.2– Емульсія «вода в олії»

Для отримання прямої бітумної емульсії частка бітуму має бути в межах 30–70 %, при перевищенні вмісту бітуму більше ніж на 70 %, краплини деформуються, ущільнюються настільки, що частково починають прилипати одна до одної. Одночасно, вода у вигляді дрібних краплинок потрапляє до бітумного середовища, в результаті цього отримується обернена емульсія. Така емульсія вміщує від 70 % до 90 % бітуму, а її в'язкість наближається до в'язкості бітуму.

Оскільки обернені емульсії мають високу в'язкість, то в будівельній практиці найбільше розповсюдження отримали прямі емульсії.

Бітум та вода є взаємонерозчинними речовинами, тому для забезпечення стійкості системи використовують різноманітні емульгатори, що дозволяють стабілізувати емульсію та подовжити тривалість розшарування системи бітум-вода.

В залежності від емульгатора, що використовується для стабілізації емульсії розрізняють аніонні ЕА, катіонні емульсії ЕК і пасти.

Як катіонні емульгатори використовують поверхнево-активні речовини ПАР на основі похідних вищих аліфатичних амінів (моно-, ді-, поліамінів), а також солей четвертинних амонієвих основ. Емульгаторами аніонного типу є ПАР на основі солей (мил) вищих природних чи синтетичних карбонових жирних кислот (фракції $C_{17} - C_{20}$, $C_{21} - C_{25}$) або кубових залишків цих кислот. Для отримання паст використовують мінеральні порошкові матеріали (цемент, глина, вапно, сажа та інші) [30, 84].

Вибір того або іншого емульгатора впливає на адгезійні властивості емульсій. Так ЕА активно взаємодіють з гірськими породами, що вміщують СаО та MgO, та утворюють на їх поверхні водостійку плівку. Використання ЕА для кислих гірських порід (що вміщують SiO₂) небажане, органічна плівка утворена емульсією цього типу недостатньо водостійка. Найбільш універсальними є ЕК, вони активно взаємодіють як з кислими так і з основними мінеральними матеріалами та утворюють міцну водонепроникну плівку, що і зумовило їх переважне використання в будівництві. Пасти по відношенню до гірських порід є малоактивними в'язучими [19, 91, 97, 102].

В залежності від необхідних технологічних та експлуатаційних властивостей зв'язувального матеріалу емульсії можуть бути виготовлені на основі бітумів різної в'язкості як з використанням різноманітних добавок (розчинників, поверхнево-активних речовин, полімерів), так і без них [61, 91, 97, 102].

За наявності полімерного модифікатора емульсії поділяють на не модифіковані та модифіковані [30].

Одна з найважливіших характеристик бітумної емульсії є час розпаду [20, 61]. При розпаді дисперсна фаза відділяється від дисперсійного середовища, дисперсійне середовище випаровується, бітумні частинки прилипають до кам'яного матеріалу. Швидкість розпаду залежить від складу бітумної емульсії. Розрізняють емульсії, що швидко розпадаються (ЕА–Ш, ЕК–Ш), які застосовують для підґрунтовки, поверхневої обробки, просочування та при роботі з гудронаторами. Середньорозпадні емульсії ЕА-С та ЕК-С розпадаються повільно тому їх використовують як для приготування чорних сумішей, так і для просочування. Для оброблення дрібнодисперсних матеріалів середньорозпадні емульсії не використовують. У цьому випадку більш придатними є повільнорозпадні емульсії ЕА-П та ЕК-П [30, 68, 84].

Бітумні емульсії на основі дорожніх бітумів, що використовують як в'язучий та плівкоутворювальний матеріал при будівництві і ремонті автомобільних доріг, вулиць, мостів, шляхопроводів та інших інженерних споруд повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-129:2006 [30]. Покрівельні та гідроізоляційні мастики, що призначені для приклеювання рулонних покрівельних та гідроізоляційних матеріалів, влаштування захисних шарів покрівель, влаштування і ремонту мастичних покрівель, влаштування мастичних шарів гідроізоляції та пароізоляції

будівельних конструкцій будівель і споруд, мають відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-108-2001 «Мастики покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови» [51].

Серед основних вимог, що висуваються до бітумних емульсій і паст є: в'язкість, однорідність, стійкість при зберіганні та транспортуванні.

Розглянемо кожний з показників більш детально.

Стійкість – властивість емульсії певний час не розшаровуватися на окремі складові, що дає можливість зберігати та транспортувати бітумну емульсію. Як причини розшарування емульсії розрізняють агрегативну та седиментаційну нестійкість. Седиментаційна нестійкість виникає внаслідок дії на частинки дисперсної фази сил ваги. Тобто рідина, що має більшу в'язкість, осідає інша – розміщується зверху. Відбувається розшарування емульсії. Емульсії є тим більше седиментаційно стійкими, чим ближче густини обох фаз. Окрім того, седиментаційна стійкість може бути забезпечена звичайним перемішуванням через певний час, або при виникненні будь-яких незначних перепадів температури, внаслідок броунівського руху частинок [23, 77, 84].

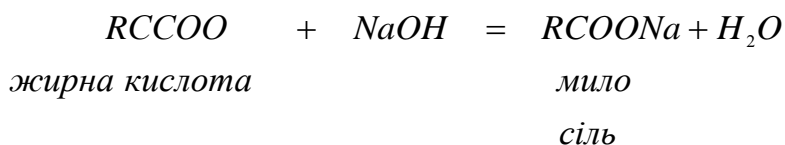
При механічній обробці компонентів емульсії, внаслідок подрібнення частинок дисперсної фази, збільшується міжфазна поверхня, а отже і наявний надлишок вільної поверхневої енергії. Частинки бітуму при цьому проявляють тенденцію до коалесценції (злипання), тобто виникає агрегативна нестійкість емульсії. Оскільки особливих складностей при усуненні седиментаційної нестійкості немає, то основна мета при виготовленні бітумних емульсій є усунення саме агрегативної нестійкості.

Агрегативна стійкість забезпечується високою дисперсністю емульсії та наявністю на частинках сольватної оболонки. Сольватна оболонка виникає внаслідок введення в бітумну емульсію емульгаторів, що при навіть незначній концентрації в речовині впливають на її поверхневий натяг.

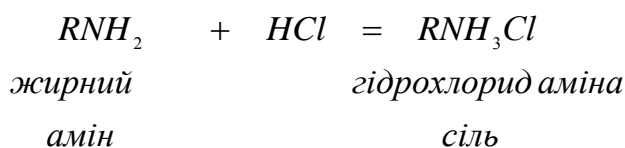
Вибір та концентрація того чи іншого емульгатора суттєво впливає агрегативну стійкість бітумної емульсії. ПАР у яких функціональні групи несуть позитивний заряд – активні в кислому середовищі та неактивні в лужному, тоді як ПАР із функціональною групою, що несе від'ємний заряд навпаки – активні в лужному, неактивні в кислому. Активність ПАР тісно пов'язана із омиленням (утворенням солей)

ПАР і іонів, тому найчастіше в технологічних процесах використовують саме солі емульгаторів.

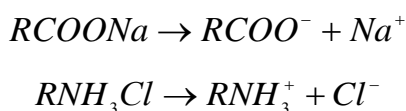
Так, жирні кислоти в лужному середовищі реагують з лугом до утворення мил:



Аміни у кислому середовищі омилюються кислотами:



У дисперсному середовищі солі дисоціюють на катіони та аніони:



В бітумних емульсіях емульгатор переміщується до поверхні розділу бітуму та води. Частинка бітуму неполярна. Гідрофобна частина молекули емульгатора зберігає взаємодію з поверхнею частинки бітуму, гідрофільна – розміщується у дисперсному середовищі – воді.

Гідрофобна частина емульгатора створює на поверхні краплинки плівку, яка має заряд. Знак заряду визначається зарядом гідрофобної або вуглеводневої частинки молекули емульгатора. Якщо гідрофобна частинка несе від'ємний заряд, то емульгатор аніонний, якщо додатний – катіонний.

Ефективність емульгатора оцінюють числом гідрофільно – ліпофільного балансу ГЛБ. Для забезпечення стійкості бітумної емульсії типу В/М ГЛБ емульгатора має бути в межах 3–6, для емульсії типу М/В ГЛБ – 8–13 [77].

Наступний показник – однорідність. Бітумна емульсія вважається однорідною, коли при зануренні скляної палички в готову бітумну емульсію на ній не виявляється крупних недиспергованих частинок бітуму [30, 68]. На однорідність впливає ефективність та тривалість механічної обробки компонентів емульсії у вузлі диспергування.

Знижена в'язкість емульсії дозволяє рівномірно, тонким шаром розподіляти бітумну емульсію на оброблювану поверхню, що дає можливість зменшити витрату гідроізоляційного матеріалу. Згідно з аналізом літературних джерел [23, 77, 89] на в'язкість бітумної емульсії впливають такі основні фактори: масові частки компонентів емульсії та дисперсність готової емульсії.

Отже, на всі перелічені властивості, окрім технології виготовлення, якості та співвідношення складових компонентів емульсії, суттєво впливає також і розмір часток дисперсної фази у дисперсному середовищі, тобто, дисперсність емульсії [28, 39]. Тому, регулювання ступеня подрібнення частинок бітуму у дисперсному середовищі дає можливість впливати на ті чи інші якісні характеристики бітумної емульсії.

1.3 Процес утворення бітумних дорожніх емульсій і сучасні технології та устаткування для їх приготування

Приготування бітумних дорожніх емульсій передбачає такі етапи (рис. 1.3.) [18, 68, 84]:

1) підготовка бітуму:

– зневоднення при температурі 100–110 °С та очищення від сміття і мінеральних домішок;

– подальший підігрів до технологічної температури в межах 140 °С в залежності від марки бітуму (здійснюється з метою забезпечення рівності консистенцій бітуму та водного розчину емульгатора, що сприятиме якісному диспергуванню складових компонентів емульсії).

2) підготовка водного розчину емульгатора:

– підігрів до технологічної температури 70–90 °С (сума температур водного розчину та бітуму має бути не більшою 200 °С, інакше буде відбуватися спінення й викид складових із вузла емульгування);

– дозування емульгатора і кислоти (лугу) в розігріту воду та перемішування компонентів водного розчину емульгатора.

3) диспергування бітуму у водному розчині емульгатора за допомогою спеціального устаткування – диспергаторів.

4) видача готової продукції – бітумної емульсії.

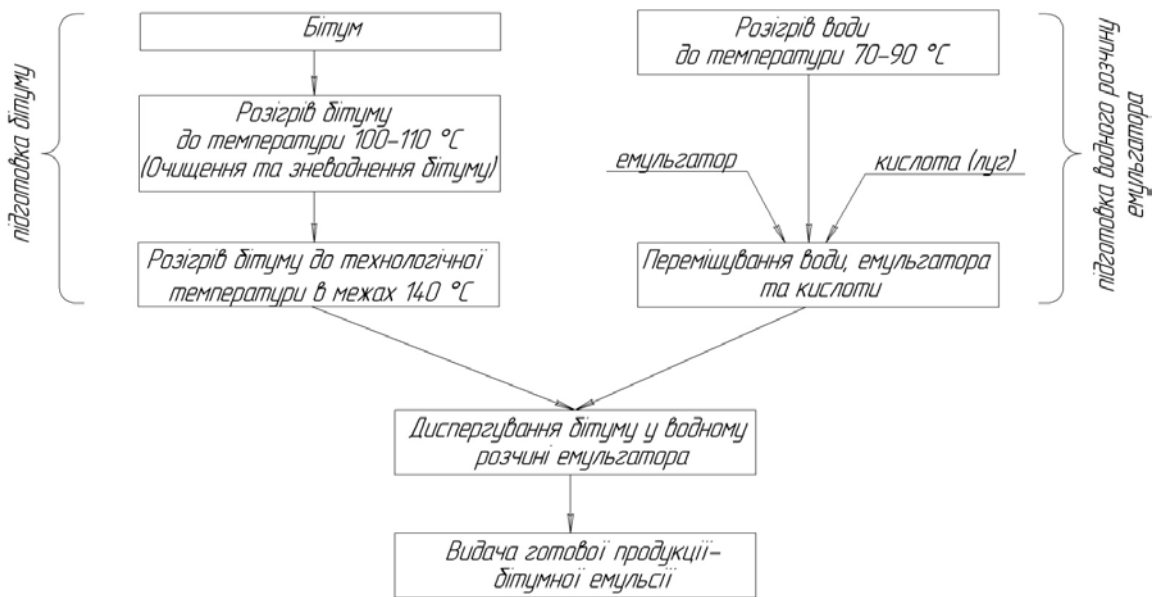


Рисунок 1.3 – Технологічна схема процесу приготування бітумної емульсії

Згідно з [68] для приготування бітумних емульсій можлива і інша технологія, яка передбачає введення емульгатора не в воду, а безпосередньо в бітум.

Технологічна схема приготування бітумної пасти наведена на рис. 1.4 [25, 68].

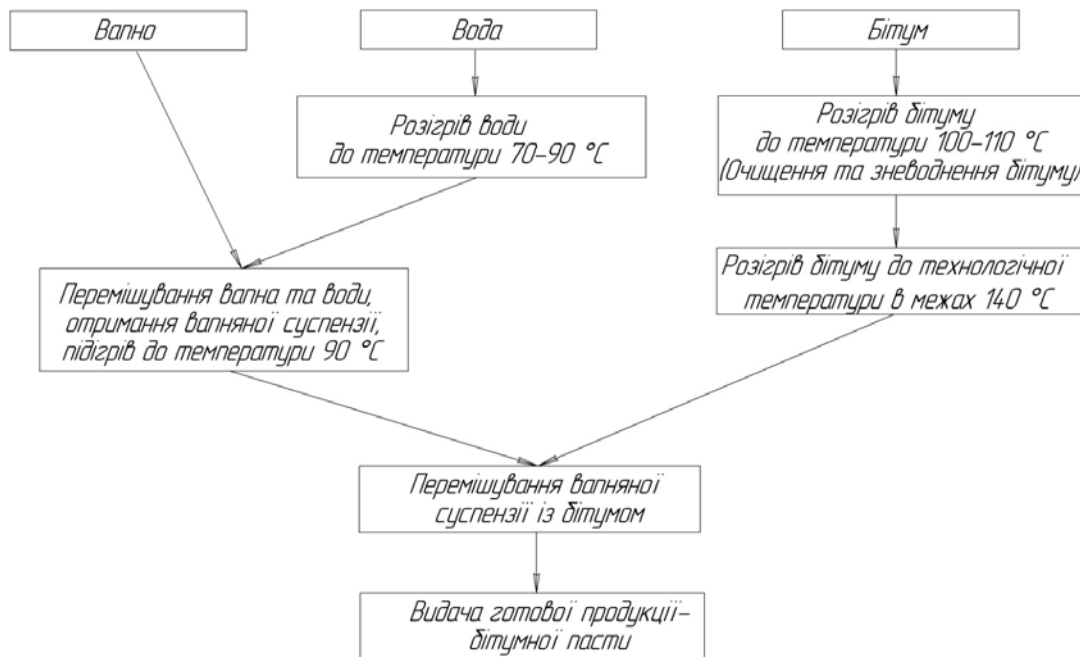


Рисунок 1.4 – Технологічна схема процесу приготування бітумної пасти

Згідно з [85] попереднє зневоднення бітуму не є обов'язковим.

Для приготування бітумної пасти використовують лопатеві асфальтобетонні змішувачі, розчино- та бетонозмішувачі [68].

Для приготування бітумної емульсії застосовується спеціальне обладнання. Розробку та впровадження установок для приготування бітумних емульсій проводять як в Україні, так і за її межами. Серед фірм-виробників такого устаткування найбільш відомі «MASSENZA» (Італія), «IKA WerkeGmbH» (Німеччина), «AkzoNobel» (Швеція), ООО «Давиал» (Росія), ДП НВЦ «Композит», ТОВ «Завод УКРБУДМАШ» (Україна) та багато інших [75].

Бітумно-емульсійні установки класифікують за способом дії, за видом системи дозування, за методом керування, за мобільністю (рис. 1.5.) [19, 68, 84].

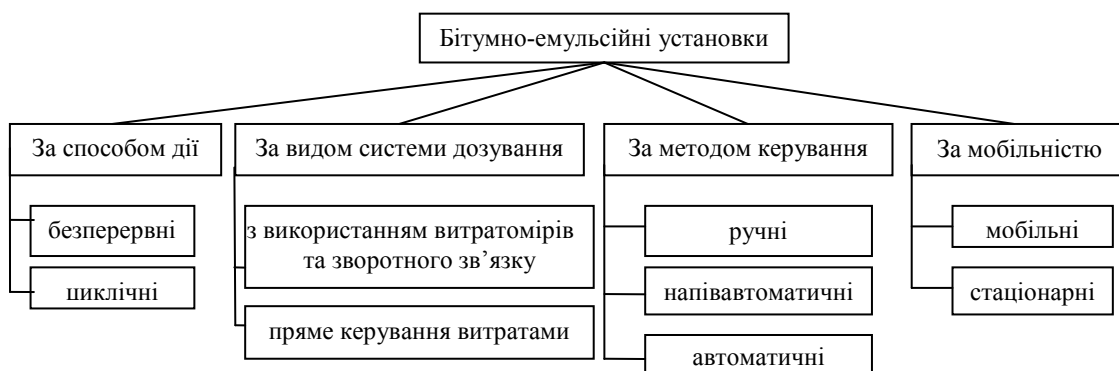


Рисунок 1.5 – Установки для приготування бітумної емульсії

Основні складові бітумно-емульсійних установок такі: вузли емульгування; витратні ємності хімікатів; бітумні котли, ємності для накопичення і збереження гарячого бітуму, готової продукції – емульсії; насосні агрегати для транспортування та дозування компонентів сировини і виготовленої емульсії, трубопровідні обв'язки. Вузол емульгування – основний вузол, в якому відбувається перемішування та диспергація компонентів утворюваної бітумної емульсії.

Бітумно-емульсійні установки також відрізняються між собою за способом емульгування бітуму. Розрізняють такі способи емульгування бітуму [19, 21, 28, 68, 84, 94]: механічний та хімічний.

Хімічне емульгування бітуму відбувається за рахунок гетерогенних хімічних реакцій, що відбуваються на межі розподілу фаз. Серед-

ній діаметр частинок бітуму бітумної емульсії, отриманої таким способом, біля 1 мкм вони також більш стійкі ніж отримані механічним способом емульгування. При хімічному емульгуванні витрачається приблизно в 10 разів менше механічної енергії, а теплової – в 1,5–2 рази [28, 84]. Серед недоліків цього способу – значна вартість поверхнево-активних речовин закордонного виробництва, що підвищує собівартість готової продукції.

При механічному емульгуванні дисперсну фазу піддають зовнішній дії механічних та гідродинамічних сил.

Механічне диспергування включає [19, 84]:

- подрібнення масиву оброблюваного середовища на окремі краплини;
- укрупнення окремих краплин внаслідок їх об'єднання (коалесценції);
- стабілізація краплин визначених розмірів;
- старіння вихідної продукції.

Згідно з [45, 48, 84, 96], процес емульгування рідких гетерогенних систем відбувається у 3 стадії.

На першій стадії краплинки рідини витягується в циліндр, збільшуючи поверхню дисперсної фази. На подолання сил поверхневого натягу витрачається певна робота.

Друга стадія настає, коли довжина витягнутих в циліндр краплин рідини стає більшою від довжини кола її перерізу, краплинки рідини стають нестійкими та розпадаються на більш дрібні краплинки сферичної форми. Зменшується поверхня та вільна поверхнева енергія.

На третій стадії одночасно відбуваються процеси коаліценції при зіткненні утворених краплин та їх диспергуванні. Краплини стають дрібнішими, а тому їх витягування ускладнюється. Збільшується капілярний тиск, дрібні краплини стають більш стійкими та не змінюють своєї форми. Диспергування відбувається не тільки при розтягуванні краплин, але й при невеликому їх стисненні.

Серед механічних способів диспергування бітуму:

- 1) емульгування стисненим повітрям (барботаж);
- 2) емульгування ультразвуком (акустичні диспергатори);
- 3) емульгування за допомогою механічних змішувачів (пропелерна, лопатева мішалка);
- 4) емульгування з використанням колоїдного млина.

Згідно з [28, 52, 84], при тривалій обробці високов'язких органічних речовин таких, як бітум, гудрон, мазут спільно з водою за допомогою стисненого повітря (барботажу) протягом 20–25 хв., середній розмір краплинок води оберненої емульсії складає наближено 60 мкм, а максимальний - 110–160 мкм. Барботаж доцільно використовувати, коли складові повітря (або будь-який інший газ) є однією з речовин, що вступає в реакцію, або потрібен для збудження біологічного процесу. Даний спосіб також використовують на підприємствах, де є надлишок стисненого повітря. Серед недоліків барботажу: даний спосіб емульгування використовують лише для малов'язких рідин (до $200 \text{ мН}\cdot\text{с}/\text{м}^2$), має низький коефіцієнт корисної дії [89].

Схожі результати при виготовленні бітумної емульсії показав і акустичний диспергатор АД-2, дисперсність готової емульсії більше 50 мкм [28, 84]. Принцип емульгування за допомогою ультразвуку більш детально розписаний в пункті 1.4.

При обробці компонентів бітумної емульсії у механічному змішувачі протягом 10–40 хв. та швидкості 1500 об/хв середній діаметр крапель знаходиться в межах 12–18 мкм [28, 84].

Найкращі результати дає використання для емульгування бітуму колоїдних млинів. Дисперсність такої емульсії 3–4 мкм, а найбільший діаметр краплин не перевищує 6–8 мкм [28, 84].

Результати досліджень різних способів емульгування в залежності від дисперсності виготовленої бітумної емульсії представлені на рис. 1.6. Порівняльна характеристика найбільш розповсюджених бітумно-емульсійних установок, що реалізують різні способи емульгування наведена в таблиці 1.1 [68, 84].

Як показав порівняльний аналіз серед способів емульгування бітуму, використання колоїдного млина є більш раціональним, тому пристрій емульгування у більшості бітумно-емульсійних установок – колоїдний млин (рис. 1.7) та його різні модифікації, причому, принцип дії цих установок залишається аналогічним.

Основні складові колоїдного млина – ротор і статор. Суміш води з бітумом надходить до пристрою емульгування, проходить через зазор між нерухомим статором та рухомим ротором, в якому піддається ряду механічних і гідродинамічних впливів: зрізуючих та розтягуючих навантажень, механічних контактів із робочими частинами обладнання, великих зсувних напружень, пульсації швидкості та тиску потоку

рідкого середовища, розвинутої турбулентності потоку рідини тощо. На виході з вузла емульгування отримується готова бітумна емульсія

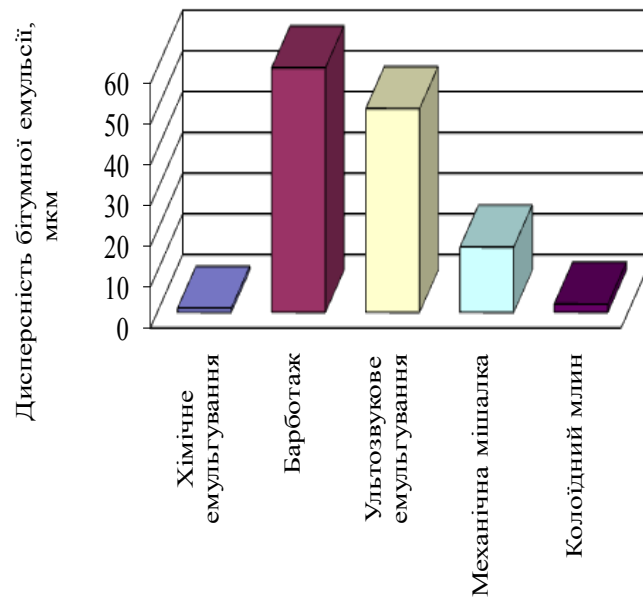


Рисунок 1.6 – Дисперсність бітумної емульсії в залежності від способу її отримання

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики існуючого устаткування для приготування емульсій

Бітумно-емульсійна установка	Метод емульгування	Продуктивність, т/год	Дисперсність, мкм	Потужність електродвигуна, кВт
Акустичний диспергатор АД	Ультразвукова обробка компонентів	7	50	6
Лопатева мішалка	Обробка компонентів за допомогою механічної мішалки	3	12–18	2,8
MASSENZA Embac 4000x2AB-SK (Італія)	Обробка компонентів за допомогою колоїдного млина	5–6	3–4	7,5

ЛІТЕРАТУРА

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
2. Акопян А. А. Геометрические свойства кривых второго порядка. / А. А. Акопян, А. В. Заславский – М. : МЦНМО, 2007. – 136 с.
3. Альтшуль А. Д. Примеры расчетов по гидравлике : учебное пособие / А. Д. Альтшуль, В. И. Калицун, Ф. Г. Майрановский. – М. : Стройиздат, 1977. – 255 с.
4. Бауман К. В. Експериментальні дослідження нової кавітаційної технології приготування бітумних емульсій / К. В. Бауман, І. В. Коц // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук : КрНУ. – 2012. – № 3 (74). – С. 76–79.
5. Бауман К. В. Математична модель емульгування бітуму в кавітаційній установці / К. В. Бауман, М. Р. Бауман // Матеріали за 8-а міжнародна научна практична конференція, [Найновітє постиження на європейската наука – 2012], (Софія, 17–25-ти юни 2012) – Софія, 2012. – Т. 13. – С.51–54.
6. Бауман К. В. Кавітаційна установка для приготування бітумних емульсій / К. В. Бауман // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» : збірник наук. пр. «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2008. – № 38 – С. 77–81.
7. Бауман Е. В. Кинетика образования эмульсии в кавитационном диспергаторе битумно-эмульсионной установки / Е. В. Бауман, И. В. Коц // Молодой ученый. – 2012. – № 12 (47). – С. 30–34.
8. Бауман К. В. Оптимізація процесу приготування бітумної емульсії на кавітаційній установці / К. В. Бауман, І. В. Коц // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Сучасні будівельні матеріали. – Макіївка : ДонНАБА. – 2012. – № 1 (93). – С. 191–197.
9. Бауман К. В. Нова технологія виготовлення бітумної емульсії / К. В. Бауман // Хімічна та екологічна освіта: стан і перспектива розвитку : матеріали Української науково - практичної конференції – Вінниця : Едельвейс і К. – 2008. – С. 127.

10. Бауман К. В. Нова технологія та устаткування для виготовлення бітумної емульсії / К. В. Бауман, А. А. Борисенко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2008. – № 75. – С. 47–50.
11. Бауман К. В. Перспективи використання кавітаційних диспергаторів для емульгування бітуму / К. В. Бауман // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2008. – № 5. – С.45–49.
12. Бауман К. В. Система автоматизованого керування емульсійною установкою на основі математичної моделі її робочого процесу / К. В. Бауман, І. В. Коц // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 4. – Режим доступу: <http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/index>.
13. Бауман К. В. Установа для приготування бітумних емульсій / К. В. Бауман, І. В. Коц // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : Зб. наук. праць. – Львів : Каменяр. – 2009. – Випуск 8. – С. 374–379.
14. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия : ДСТУ 44044-2001 – Чинний від 2002-01-01. – К. : Держстандарт України, 2001. – 14 с. – (Національний стандарт України).
15. Блохин А. В. Теория эксперимента : курс лекций. В 2 ч. Ч. 2. / А. В. Блохин. – Мн. :БГУ, 2002. – 67 с.
16. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – К. : Вища школа, 1976. – 183 с.
17. Борщевский Ю. Т. Повышение эффективности землесосных снарядов / Ю. Т. Борщевский, И. М. Федоткин, Л. И. Погодаев – К. : Будівельник. – 1974. – 248 с.
18. Будівельне матеріалознавство / [Кривенко П. В, Пушкарьова К. К., Барановський В. Б. та ін.] – К. : ЕксОб, 2004. – 704 с.
19. Будник В. А. Битумные эмульсии. Особенности состава и применения / В. А. Будник, Н. Г. Евдокимова, Б. С. Жирнов // Нефтегазовое дело. – 2006. – Режим доступу: <http://www.ogbus.ru>.
20. Будник В. А. Механический способ эмульгирования битума в воде. Установка. Методика. Результаты апробирования / В. А. Будник, Н. Г. Евдокимова, Б. С. Жирнов // Нефтегазовое дело. – 2006. – Режим доступу: http://www.ogbus.ru/authors/Budnik/Budnik_2.pdf.
21. Будник В. А. Процессы эмульгирования битума в воде и способы их совершенствования / В. А. Будник, Н. Г. Евдокимова, Т. В. Пушкарёва // Нефтегазовое дело. – 2008. – Режим доступу: <http://www.ogbus.ru>.

22. Веретельник Т. И. Математическое моделирование кавитационного потока жидкости в химико-технологической системе / Т. И. Веретельник, Ю. Н. Дифучин // Вісник ЧДТУ, 2008. – № 3 – С. 82–85.
23. Воюцкий С. С. Курс колоидной химии. / С. С. Воюцкий – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1975. – 512 с.
24. Гель П. В. Використання імпульсних кавітаційних технологій при виготовленні біопалива / П. В. Гель, К. В. Бауман, І. В. Коц // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – Вінниця, 2010. – Випуск 42. – Т. 3. – С. 20–24.
25. Гидроизоляция ограждающих конструкций промышленных и гражданских сооружений : справ. пособие / [Беляев Л. Н., Дмитриева Г. К., Искрин В. С. и др.] ; под ред. В. С. Искрина. – М. : Стройиздат, 1975. – 318 с.
26. Грабова Т. Л. Диспергирование гетерогенных систем в роторно-пульсационных аппаратах дисково-цилиндрического типа : дис. ... канд. техн. Наук : 05.14.06 / Грабова Т. Л. – К., 2007. – 198 с.
27. Дащенко О. Ф. MATLAB в инженерних та наукових розрахунках / О. Ф. Дащенко, В. Х. Кирилов, Л. В. Коломієць, В. Ф. Оробей / Монографія. – Одеса : Астропринт, 2003. – 214 с.
28. Дисперсність емульсії при гідродинамічному проточно-кавітаційному способі її отримання / Б. С. Радовський, В. В. Мозговий, І. П. Гамеляк та ін. // Автомоб. дороги і дор. буд-во.– 1997. – Вип. 54.– С. 115–119.
29. Дослідження та інтенсифікація процесів тепломасообміну в обертових пульсуючих потоках гетерогенних дисперсних середовищ / Б. І. Басок, Б. В. Давиденко, А. І. Накорчевський та ін. // Проект ДФФД: № 04.07/00019 – С. 385–403.
30. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-129:2006. – чинний від 2007-06-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 29 с. – (Національний стандарт України).
31. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. – М. : Мир, 1976. – 167 с.
32. Зайдель А. Н. Погрешности измерений физических величин. – Л. : Наука, 1985. – 112 с.

33. Закон України Про інвестиційну діяльність // Закони України. 1996. – С. 173–181.
34. Закон України Про наукову і науково-технічну діяльність // Голос України. 1993 – № 245. – С. 6–9.
35. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп.– М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.
36. Ивоботенко Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б. А. Ивоботенко. – М. : Энергия, 1975. – 185 с.
37. Инновационный менеджмент : справ. пособие. – СПб. : Наука, 1997. – 560 с.
38. Кавитация / М. А. Промтов // Ультразвуковая техника - ИНЛАБ. Статьи – Режим доступа: <http://www.untinlab.ru/pages.html>.
39. Кавитация в переработке нефти / О. М. Яхно, А. Д. Коваль, Л. И. Пищенко, В. П. Паскалов, Н. Н. Яске – К. : Світ, 1999. – 260 с.
40. Калицун В. И. Основы гидравлики и аэродинамики / В. И. Калицун, Е. В. Дроздов – М. : Сройиздат, 1980. – 247 с.
41. Кедринский В. К. Пузырьковый кластер, кумулятивные струи и кавитационная эрозия / В. К. Кедринский // Трение, износ, смазка. – 2008. – Т. 10, № 1 – С. 24–35.
42. Климов Р. А. Особенности теплообмена в технологических эмульсиях : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / Р. А. Климов – Днепропетровск, 2007. – 190 с.
43. Книга: Строительные материалы и технологии – Режим доступа: <http://msd.com.ua/str/27.html>.
44. Козловський В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах : навчальний посібник / В. О. Козловський – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75 с.
45. Кулагин В. А. Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации : дис. ... доктора техн. наук : 01.04.11, 01.02.05 / В. А. Кулагин – Красноярск, 2004. – 299 с.
46. Ластовкина Г. А. Справочник нефтепереработчика / Г. А. Ластовкина, Е. Д. Радченко, М. Г. Рудина – Л. : Химия, 1986. – 648 с.
47. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб., 2005. – 736 с.

48. Луговський О. Ф. Підвищення ефективності апаратних засобів для реалізації ультразвукових кавітаційних технологій : дис. ... доктора техн. наук : 05.05.13 / О. Ф. Луговський – Київ, 2005. – 313 с.
49. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский – 5-е изд., переработанное – М. : ГРФМЛ издательства Наука, 1978. – 736 с.
50. Лызо Б. Г. Новые конструкции сваебойных молотов / Б. Г. Лызо, Ю. В. Дмитриевич. – М. : ЦНИИТЭСтройдормаш, 1968. – 83 с.
51. Мастики покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-108-2001 (ГОСТ 30693-2000). – Чинний від 2002-01-01. – К. : Мінбуд України, 2001. – 15 с. – (Державний стандарт України).
52. Математическая энциклопедия (в 5-и томах). – М. : Советская Энциклопедия, 1982. – Том 2 : Д’аламбера оператор – Кооперативная игра. – 552 с.
53. Матюшкин М. В. Теплообмен и гидродинамика в пульсационном диспергаторе для приготовления глинистых суспензий : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / М. В. Матюшкин – К., 2005. – 122 с.
54. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво. Затверджено: Наказ Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерства фінансів України, 26.09.01 №218/446.
55. Методичні вказівки для лабораторних робіт студентів із вивчення дисциплін «Будівельне матеріалознавство», «Дорожньо-будівельні матеріали», «Органічні в’язучі» призначені для студентів 2 (3) курсу спеціальностей 7.092104, 7.092105, 7.092106 – К. : НТУ, 2006. – 71 с.
56. Методы и устройства для комплексной кавитационной обработки жидкостей / М. А. Промтов // Ультразвуковая техника – ИНЛАБ. Стаття – Режим доступу: <http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3>.
57. Микульчик А. Ф. Теплоизоляционный материал из местного сырья // Строительные материалы. – 1965. – С. 35.
58. Москвіна С. М. Проблеми оптимізації управління технологічним процесом виготовлення цегли / С. М. Москвіна, Д. О. Ковалюк // Вісник ХНУ. – 2005. – № 5. – С.121–125.

59. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
60. Панкевич О. Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань – Монографія / О. Д. Панкевич, С. Д. Штовба. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108 с.
61. Панькин С. В. Полимерно-битумная эмульсия ЭМС на основе аминов для слоёв износа дорожных покрытий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / С. В. Панькин – Ростов-на-Дону, 2004. – 218 с.
62. Пат. 37338 Україна, МПК8 E01C 19/00 Установка для приготовления битумных эмульсий / А. А. Борисенко, К. В. Бауман, І. В. Коц, заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200807653 ; заявл. 04.06.08 ; опубл. 25.11.08, Бюл. № 22.
63. Пат. 40984 Україна, МПК8 B01F 13/00 Узел диспергування / А. А. Борисенко, І. В. Коц, К. В. Бауман, І. П. Гамеляк, , заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200815036 ; заявл. 26.12.08 ; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8.
64. Пат. 48270 Україна, МПК8 E01C 19/00 Високопродуктивна кавітаційна установка для приготування бітумних емульсій / К. В. Бауман, І. В. Коц, В. В. Швець, О. В. Христич, заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200909874 ; заявл. 28.09.09 ; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.
65. Пат. 76925 Україна, МПК B01F 3/10 Спосіб виготовлення бітумних емульсій / Бауман К. В., Коц І. В, заявник і патентовласник ВНТУ. – № u201207182 ; заявл. 13.06.12 ; опубл. 25.01.13, Бюл. № 2.
66. Пересада А. Д. Основы инвестиционной деятельности / А. Д. Пересада – СПб., 1996. – С. 190–195.
67. Погодаев Л. И. Снижение интенсивности кавитации за счет увеличения релаксирующих свойств жидкостей, использования эмульсий и покрытий / Л. И. Погодаев, О. О. Матвеевский, Д. Ф. Доских // Трение, износ, смазка. – Март 2008. – Т. 10, № 1 – Режим доступа: www.tribo.ru.
68. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85) – [Утверждено приказом Союздорнии от 25.03.87 № 51] – М.: Стройиздат, 1989. – 32 с.
69. Промтов М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества : учебное пособие / М. А. Промтов – М. : Машиностроение-1, 2004. – 136 с.

70. Промтов М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М. А. Промтов // Вестник ТГТУ – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861–869. – Режим доступа до журн.: http://vestnik.tstu.ru/rus/t_14/pdf/14_4_011.pdf
71. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика. / М. А. Промтов – М. : Машиностроение, 2001. – 130с.
72. Редикот RM007 – Режим доступа: http://emulbittech.ru/edicote_rm007.
73. Ривкин С. Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара : справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. / С. Л. Ривкин, А. А. Александров – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.
74. Рождественский В. В. Кавитация / В. В. Рождественский – Ленинград: Судостроение, 1977. – 248 с.
75. Розробка устаткування та технологій виготовлення бітумних емульсій і мастик для гідроізоляційних, покрівельних та інших видів робіт : Звіт про НДР (заключний) 93/4. / Вінницький національний технічний університет. – № держреєстрації 0110U001845. – Вінниця, 2010. – 100 с.
76. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с.
77. Семириков И. С. Физическая химия строительных материалов / И. С. Семириков – Екатеринбург : ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. – 245 с.
78. Сергеева Ю. Н. Влияние параметров кавитации на процесс эмульгирования / Ю. Н. Сергеева, А. Д. Горбунов, В. Е. Черниченко // Наукова конференція «Наука та практика: Інновація 2007» – Режим доступа : <http://www.pdaa.com.ua/np/pdf2/25.pdf>
79. Сердюк В. Р. Нова технологія та устаткування для виготовлення гідроізоляційних матеріалів на основі бітумних емульсій / В. Р. Сердюк, К. В. Бауман // Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка. – 2009. – №34. – С. 35–42.
80. Троян С. В. Застосування кавітаційних технологій при виготовленні біопального / С. В. Троян, К. В. Бауман, І. В. Коц // Матеріали за 7-а міжнародна научна практична конференція [Найновітє постиження на європейската наука – 2011], (Софія, 17–25-ти юни 2011). – Софія, 2011. – Т. 42, Технологии. – С.9–12.

81. Термины и определения. Способы возбуждения кавитации. Динамика кавитационного пузырька / М. А. Промтов – Режим доступа: <http://esmorodov.narod.ru/G1.pdf>.

82. Фатхутдинов Р. А. Инновационный менеджмент : учебник для вузов / Р. А. Фатхутдинов – М. : ЗАО Бизнес-школа Интел-Синтез, 1998. – 600 с.

83. Федоткин И. М., Немчин А. Ф. Использование кавитации в технологических процессах / И. М. Федоткин, А. Ф. Немчин. – К., Вища школа, 1984. – 68 с.

84. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів : навчальний посібник / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер та ін.; під ред. В. І. Братчуна– Макіївка : ДонНАБА, 2006. – 303 с.

85. Червяков В. М. Использование гидродинамических и кавитационных явлений в роторных аппаратах : монография / В. М. Червяков, В. Г. Однодолько. – М. : Машиностроение, 2008. – 116 с.

86. Чирков В. Г. Обґрунтування фінансування інноваційних проєктів // Фінанси України. – 1996. – № 6. – С. 70–74.

87. Чкалова О. Н Основы научных исследований / О. Н Чкалова – К. : Вища школа, 1987 – 120 с.

88. Шапиро В. Д. Управление проектами / В. Д. Шапиро – СПб., 1996. – 216 с.

89. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, П. Тауск ; пер. с чешского И. С. Павлушенко. – Л. : Ленинградское отделение Госхимиздата, 1963. – 416 с.

90. Amromin E. L. Approximate solution of the three-dimensional inverse problem for nonlifting bodies with optimum cavitation characteristics / Amromin E. L., Bushkovskii V. A. // Fluid Dynamics. – 1994. – Vol. 29, № 3. – P. 373–379.

91. Cavitation technologies for dispergation and homogenization / P. G. Dumitrash, M. K. Bologna, T. V. Kuchuk [та ін.] // Surface engineering and applied electrochemistry. – 2009. – V. 45, № 4 – P. 342–346.

92. Evdokimov I. N. Effect of asphaltenes on the thermal properties of petroleum and bitumen emulsions / I. N. Evdokimov, N. Yu. Eliseev // Chemistry and technology of fuels and oils. – 2002. – V. 38, № 6. – P. 375–380.

93. Gureev A. A. News in asphalt production technology / A. A. Gureev, V. E. Somov, A. I. Lugovskoi, A. I. Ivanov // Chemistry and technology of fuels and oils. – 2000. – V. 36, № 2. – P. 134–137.

94. Isacson U. A compilation of laboratory methods for studying of bitumen emulsions / Isacson U., Ph. D. // *Materiaux et constructions*. – V. 18, № 105. – P. 228–236.
95. Karlikov V. P. Jet-cavitation flow past “Fluid Cylinders” / V. P. Karlikov, S. L. Tolokonnikov // *Fluid Dynamics*. – 2004. – V. 39, – P. 128–135.
96. Khil'ko S. L. Physicochemical principles of preparation of emulsion fuels / S. L. Khil'ko, E. V. Titov // *Chemistry and technology of fuels and oils*. – 2007. – Vol. 43, № 5. – P. 437–447.
97. Lu X. Rheological properties of SEBS, Eva and EBA polymer modified bitumens / Lu X., Isacson U., Ekblad J. // *Materials and structures*. – 1999. – V. 32. – P. 131–139.
98. On the mechanism of the bursting phenomena of propeller tip vortex cavitation / Akihisa Konno, Kazuaki Wakabayashi, Hajime Yamaguchi [та ін.] // *Journal of Marine science and technology*. – 2002. – P. 181–192.
99. Prokumin A. N. Cavitation – induced particle – wall interaction in Newtonian and non – Newtonian fluids / A. N. Prokumin, R. V. Slavin // *Rheol acta* – 2006. – P. 348–356.
100. Smorodov E. A. Cavitation bubble dynamics in a polar liquid / Smorodov E. A. // *Technical physics letters*. – 2006. – V. 32, № 4. – P. 340–342.
101. Stebnovskii S. V. Conditions for development of cavitation in scleronomous media / Stebnovskii S. V. // *Journal of applied mechanics and technical physics*. – 2001. – V. 442, № 1. – P. 77–86.
102. Syroezhko A. M. Modification of paving asphalts with sulfur / A. M. Syroezhko, O. Yu. Begak, V. V. Fedorov, E. N. Gusarova // *Russian journal of applied chemistry*. – 2003. – V. 76, № 3. – P. 491–496.
103. Viten'ko T.N. A Mechanism of the activating effect of hydrodynamic cavitation on water / T. N. Viten'ko, Ya. M. Gumnitskii // *Journal of water chemistry and technology* – 2007. – V. 29, № 5. – P. 231–237.
104. Waterproofing latex-bitumen emulsions / Nuriev M. A., Murafa A. V., Makarov D. B. [та ін.] // *Polymer science, series D. Glues and sealing materials*. – 2008. – V. 1, № 2. – P. 132–134.

Наукове видання

Бауман Катерина Володимирівна

Коц Іван Васильович

КАВІТАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено К. Бауман

Підписано до друку 4.11.2013 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. Арк. 7,39
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) Зам № 10-05

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.