АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота виконана студентом групи ХТПВ-21 Гордієнко А.А.

Тема роботи: «Одержання та застосування пластифікуючого додатку до дорожніх бітумів з бурого вугілля і нафти».

Магістерська робота присвячена актуальній проблемі – модифікуванню бітумів з додаванням пластифікуючих додатків, які отримуються з нафти (гудрон) та бурого вугілля (смола низькотемпературної газифікації бурого вугілля). Нафтовий бітум – відносно недорогий термопластичний матеріал, який використовується як в'яжуче для дорожніх покриттів. Проте сирі товарні бітуми не є придатним для дорожнього будівництва, оскільки вони мають низькі експлуатаційні властивості (низька теплостійкість та низькі адгезійні властивості, старіють під впливом високої температури). Тому для покращення його властивостей, і як наслідок, уможливлення його використання в дорожньому будівництві використовують модифікатори та пластифікатори. Метою магістерської роботи було визначення впливу пластифікаторів з нафти і бурого вугілля на пластичні властивості товарного бітуму. В цій роботі як пластифікатори розглядаються гудрон та смола низькотемпературної газифікації буроговугілля. Гудрон є одночасно і сировиною для одержання бітумів та пластифікатором, який незначно понижує температуру розм'якшення, але при цьому покращує пластичні властивості. Головна перевага гудрону в його доступності, оскільки він є побічним продуктом нафтової перегонки. Смола низькотемпературної газифікації вугілля, в свою чергу, сильніше покращує пластичні властивості, але вона не є настільки розповсюдженою та доступною як гудрон.

Також було пораховано матеріальний баланс, спроектовано технологічну схему одержання бітумів модифікованих пластифікатором, розраховано основні техніко-економічні показники дослідження.

При написанні магістерської кваліфікаційної роботи використовувався значний обсяг літературних джерел, в т.ч. написаних та виданих іноземними мовами, серед яких основними слід вважати:

1. Технологія і механізація будівельних процесів Панченко В.О., Костюк М.Г., Качура А.О [та ін.] / Навчально-методичний посібник. – Харків: 2005. – 242 с.
2. W. Cao, L. Mohammad, P. Barghabany, Use of indirect tension test and viscoelastic continuum damage theory for fatigue characterization of asphalt mixtures, Constr. Build. Mater. 187 (2018) 38–49.
3. J.C. Petersen, P.M. Harnsberger, Asphalt aging: a dual oxidation mechanism and its interrelationships with asphalt composition and oxidative age hardening, Transp. Res. Rec. 1638 (1998) 47–55.
4. Z. Fu, K. Shi, F. Ma, R. Song, L. Chen, J. Dai, W. Shen, Rheological properties of dioctyl adipate-modified asphalt binder, Int. J. Pavement Eng. (2021), https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1867855.
5. H. Ding, H. Wang, X. Qu, A. Varveri, J. Gao, Z. You, Towards an understanding of diffusion mechanism of bio-rejuvenators in aged asphalt binder through molecular dynamics simulation, J. Clean Prod. 299 (2021) 126927.
6. H. Zhu, G. Xu, M. Gong, J. Yang, Recycling long-term-aged asphalts using bio-hardening, Transp. Res. Rec. 1638 (1998) 47–55.
7. How Green is Your Plasticizer?. [Електронний ресурс] www.mdpi.com/2073-4360/10/8/834
8. I.H. Jamal, G. Yaseen, A. Aziz, Influence of Cereclor on the performance of aged asphalt binder, Int. J. Pavement Eng. 21 (11) (2020) 1309–1320.
9. J. Pan, R.A. Tarefder, Investigation of asphalt aging behaviour due to oxidation

10. J. Reedijk, Reference module in chemistry, molecular sciences and chemical engineering, Elsevier, Oxford, 2014.
11. J.C. Petersen, P.M. Harnsberger, Asphalt aging: a dual oxidation mechanism
12. L.G. Cucalon, G. King, F. Kaseer, E. Arambula-Mercado, A.E. Martin, T.F. Turner, C.J. Glover, Compatibility of recycled binder blends with recycling agents: rheological and physicochemical evaluation of rejuvenation and aging processes, Ind. Eng. Chem. Res. 56 (2017) 8375–8384.
13. M.C. Cavalli, M. Zaumanis, E. Mazza, M.N. Partl, L.D. Poulikakos, Effect of ageing on the mechanical and chemical properties of binder from RAP treated with bio-based rejuvenators, Compos. B Eng. 141 (2018) 174–181.

ANNOTATION

Master’s thesis was performed by A.A. Hordiienko, the student of the HTPV-21 group.

The thesis topic is «Obtaining and application of plasticizing additive to road bitumen from lignite and oil».

Master’s thesis is devoted to the relevant problem – modification of bitumen with plasticizers from oil (oil tar) and from lignite (resin of low temperature pyrolysis of lignite). Oil bitumen are relatively cheap thermoplastic materials, which are used as binder for pavements. Non the less, raw oil bitumen can not be used in road constructions, because they posses low operational properties (low heat resistance and low adhesive properties, they also “age” under the influence of high temperatures). Thus, for optimizing its properties modifiers and plasticiziers are used, which enable possibility of using bitumen for road constructions. The aim of this masters thesis was researching the influence of oil and resin plasticizers on the oil bitumen. In this thesis we studied oil tar and resin of low temperature pyrolysis as plasticizers. Oil tar is simultaneously the source of bitumen as well as plasticizers for such, which slightly reduces the temperature of softening, but increases its plasticity. The main advantage of oil tar is its availability, since it is a by-product of petroleum distillation. The resin of low-temperature pyrolysis of coal, in turn, improves the plastic properties more strongly, but it is not as widespread and accessible as tar.

Also, the material balance was calculated, a technological scheme for obtaining bitumen modified with a plasticizer was designed, and the main technical and economic indicators of the study were calculated.

When writing the master's qualification thesis, a significant amount of literary sources was used, including those written and published in foreign languages, among which the main ones should be considered:

1. Technology and mechanization of construction processes Panchenko V.O., Kostyuk M.G., Kachura A.O. [et al.] / Educational and methodological manual. – Kharkiv: 2005. – 242 p.
2. W. Cao, L. Mohammad, P. Barghabany, Use of indirect tension test and viscoelastic continuum damage theory for fatigue characterization of asphalt mixtures, Constr. Build. Mater. 187 (2018) 38–49
3. J.C. Petersen, P.M. Harnsberger, Asphalt aging: a dual oxidation mechanism and its interrelationships with asphalt composition and oxidative age hardening, Transp. Res. Rec. 1638 (1998) 47–55.
4. Z. Fu, K. Shi, F. Ma, R. Song, L. Chen, J. Dai, W. Shen, Rheological properties of dioctyl adipate-modified asphalt binder, Int. J. Pavement Eng. (2021), https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1867855.
5. H. Ding, H. Wang, X. Qu, A. Varveri, J. Gao, Z. You, Towards an understanding of diffusion mechanism of bio-rejuvenators in aged asphalt binder through molecular dynamics simulation, J. Clean Prod. 299 (2021) 126927.
6. H. Zhu, G. Xu, M. Gong, J. Yang, Recycling long-term-aged asphalts using bio-hardening, Transp. Res. Rec. 1638 (1998) 47–55.
7. How Green is Your Plasticizer?. [Електронний ресурс] www.mdpi.com/2073-4360/10/8/834
8. I.H. Jamal, G. Yaseen, A. Aziz, Influence of Cereclor on the performance of aged asphalt binder, Int. J. Pavement Eng. 21 (11) (2020) 1309–1320.
9. J. Pan, R.A. Tarefder, Investigation of asphalt aging behaviour due to oxidation
10. J. Reedijk, Reference module in chemistry, molecular sciences and chemical engineering, Elsevier, Oxford, 2014.
11. J.C. Petersen, P.M. Harnsberger, Asphalt aging: a dual oxidation mechanism
12. L.G. Cucalon, G. King, F. Kaseer, E. Arambula-Mercado, A.E. Martin, T.F. Turner, C.J. Glover, Compatibility of recycled binder blends with recycling

agents: rheological and physicochemical evaluation of rejuvenation and aging processes, Ind. Eng. Chem. Res. 56 (2017) 8375–8384.

13. M.C. Cavalli, M. Zaumanis, E. Mazza, M.N. Partl, L.D. Poulikakos, Effect of ageing on the mechanical and chemical properties of binder from RAP treated with bio-based rejuvenators, Compos. B Eng. 141 (2018) 174–181.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ 4
ANNOTATION 7
ЗМІСТ 10
ВСТУП 12
РОЗДІЛ 1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 17
1.1. Аналіз джерел літератури за темою роботи 17
1.1.2. Склад бітумів 17
1.1.3. Одержання бітумів 19
1.1.4. Властивості бітумів 21
1.1.5. Модифікатори бітумів 23
1.1.6. Пластифікатори бітумів 27
1.1.7. Висновки до розділу 30
1.2. Характеристика використовуваних речовин, методики експериментів та аналізів 31
1.2.1. Характеристики вихідних речовин та матеріалів 31
1.2.2. Методики експериментів 34
1.2.3. Методики аналізів 35
1.3. Результати досліджень та їх обговорення 37
1.3.1. Застосування гудрону як пластифікатора 39
1.3.2. Застосування смоли низькотемпературної газифікації бурого вугілля як пластифікатора 44
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 47
2.1. Розрахунок матеріального балансу установки 47
2.2. Розрахунок основного технологічного обладнання установки 50
2.3. Опис реконструкції установки виробництва бітумів 53
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 56

3.1. Загальні відомості 56
3.2. Розрахунок витрат за статею «сировина, речовина, матеріали» 56
3.3. Розрахунок енергозатрат 56
3.4. Розрахунок чисельності працюючих, фонду заробітної плати та відрахувань 57
3.5. Розрахунок вартості приладів, апаратури, амортизаційних відрахувань, вартості малоцінного інвентарю і інструментів 58
3.6. Визначення витрат на оренду приміщення 59
3.7. Розрахунок вартості дослідження 60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 61

ВСТУП

Виробництво та використання пластифікаторів стали критично важливими компонентами для підвищення експлуатаційних характеристик нафтових бітумів, які є життєво важливими в різних промислових застосуваннях, включаючи будівництво доріг і покрівлю. Пластифікатори, які є добавками, що підвищують пластичність або текучість матеріалів, можуть значно покращити експлуатаційні характеристики та довговічність бітуму, роблячи його більш придатним для роботи при низьких температурах і стійким до розтріскування під напругою. У світі розглядаються різноманітні типи пластифікаторів, які використовуються у виробничому процесі, підкреслюються відмінності в їхньому хімічному складі, які впливають на їх ефективність і сумісність з бітумом. Існують різні промислові методи синтезу цих пластифікаторів, включаючи етерифікацію, етерифікацію та змішування полімерів, одночасно зважуючи переваги та недоліки кожного методу, такі як економічна ефективність, вплив на навколишнє середовище та специфічні робочі характеристики кінцевого продукту. Крім того, варто враховувати зростаючий вплив факторів навколишнього середовища та регуляторних факторів на виробництво пластифікаторів у нафтовій промисловості, що відображає перехід до екологічніших альтернатив і дотримання суворих правил, спрямованих на зменшення шкідливих викидів. Інтегруючи всебічний огляд цих багатогранних аспектів, цей вступ прагне висвітлити ключову роль, яку пластифікатори відіграють в оптимізації нафтових бітумів, таким чином сприяючи покращенню характеристик матеріалу та стійкості в будівельних практиках.

Виробництво пластмас включає різноманітні пластифікатори, кожен з яких значно відрізняється за своїм хімічним складом і властивостями, які впливають на їх придатність для різних застосувань. Одним із найпоширеніших типів пластифікаторів є складні ефіри фталатів, отримані з алкілових спиртів з прямим і розгалуженим ланцюгом, яким давно віддають перевагу через їхню

ефективність у підвищенні гнучкості та довговічності таких продуктів, як оббивка автомобілів і покриття для взуття .Традиційно ортофталатні ефіри домінували на ринку, але спостерігається зростаюча тенденція, особливо в Європі, до використання високомолекулярних ортофталатів, які класифікуються як нешкідливі та менш токсичні альтернативи. Крім того, пластифікатори на основі полікарбонових кислот — як правило, складні ефіри з лінійними або розгалуженими аліфатичними спиртами — використовуються для застосування з ПВХ та іншими пластмасами, пропонуючи сумісність і низьку летючість . Крім того, суперпластифікатори, які включають лігнін, нафталін і меламінсульфонат, діють за допомогою механізмів електростатичного відштовхування, ефективно диспергуючи частинки цементу шляхом надання негативного заряду, забезпечуючи кращі властивості текучості будівельних матеріалів. Нові інновації в пластифікаторах, наприклад на основі полікарбонових ефірів, ще більше розширюють можливості, доступні для виробників, надаючи унікальні властивості, які можна пристосувати до конкретних потреб. Таким чином, кожен тип пластифікатора відіграє вирішальну роль у функціональності кінцевого продукту, що підкреслює важливість вибору відповідного пластифікатора на основі його хімічного складу та вимог до застосування.

Промисловий синтез пластифікаторів включає кілька методів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Одним із найпоширеніших методів є етерифікація фталевого ангідриду спиртами, що призводить до отримання фталатних пластифікаторів. Цей метод користується широкою популярністю завдяки своїй ефективності та здатності отримувати високоякісні, сумісні пластифікатори, які підвищують гнучкість і довговічність пластмас . Однак використання сировини на основі нафти в цьому процесі викликає проблеми з навколишнім середовищем, оскільки ці матеріали не піддаються біологічному розкладанню та сприяють проблемам забруднення як під час синтезу, так і протягом життєвого циклу пластикових виробів . Інший метод передбачає синтез пластифікаторів на

біологічній основі, таких як пластифікатори, отримані з відновлюваних ресурсів, таких як рослинні олії. Хоча пластифікатори на біологічній основі пропонують більш стійку альтернативу та зменшують залежність від викопного палива, вони часто пов'язані з вищими витратами на виробництво та не завжди можуть збігатися з характеристиками традиційних пластифікаторів . Крім того, міграція пластифікаторів, особливо у застосуваннях з полівінілхлориду (ПВХ), створює значні проблеми, що призводить до передчасного руйнування матеріалу та обмеження довговічності виробів . Таким чином, кожен метод синтезу повинен бути оцінений не тільки з огляду на його технічну здійсненність, але також на його вплив на навколишнє середовище та економічну життєздатність, що відображає складний баланс, необхідний сьогодні в промисловості пластифікаторів.

Виробництво пластифікаторів у нафтовій промисловості значною мірою залежить від факторів навколишнього середовища та регуляторних факторів, які є невід'ємною частиною протоколів безпеки, що регулюють ці речовини. Протягом багатьох років підвищена обізнаність споживачів щодо екологічних проблем спонукала до переходу до більш стійких практик, що призвело до більшого попиту на зелені пластифікатори, які є нетоксичними та безпечними для навколишнього середовища . У відповідь на це регуляторні вимоги тепер часто вимагають комплексного тестування на токсичність перед тим, як нові пластифікатори можуть бути представлені на ринку, підкреслюючи важливість оцінки різних кінцевих точок токсичності для різних видів. Це тестування зазвичай використовує ряд методів, включаючи бактеріальні аналізи та довгострокові дослідження in vivo, щоб переконатися, що ці нові сполуки не становлять ризику для здоров'я людини чи екосистеми. Крім того, принципи екологічної хімії все більше інтегруються в фазу проектування розробки пластифікаторів, де питання токсичності є пріоритетними для узгодження зі стандартами екологічної безпеки. Потреба в більш безпечних альтернативах

була ще більше підкреслена дослідженнями шкідливого впливу на здоров'я традиційних пластифікаторів, таких як DEHP, які почалися в 1980-х роках і підкреслили критичну роль факторів навколишнього середовища, пов'язаних зі здоров'ям, у формуванні виробничої практики. Загалом, взаємодія цих регуляторних тисків, а також пропаганда з боку некомерційних організацій та зацікавлених сторін галузі, продовжує стимулювати пошук інноваційних, стійких пластифікаторів у нафтовому секторі.

Тобто важливо вибрати відповідні пластифікатори для покращення експлуатаційних характеристик нафтових бітумів, одночасно вирішуючи проблеми навколишнього середовища та здоров'я. Поширене використання ефірів фталатів є прикладом компромісу між продуктивністю та безпекою, оскільки ці сполуки історично віддавали перевагу через їхню ефективність у покращенні гнучкості та довговічності продукту, але піддалися пильній перевірці через їх потенційний ризик для здоров'я. Це підкреслює нагальну потребу в тому, щоб промисловість орієнтувалася на більш безпечні альтернативи, особливо в умовах посилення регулятивного контролю та попиту споживачів на екологічно чисті варіанти. Дослідження біологічних пластифікаторів, отриманих з відновлюваних ресурсів, таких як рослинні олії, представляє багатообіцяючий шлях для інновацій, узгоджуючи принципи екологічної хімії, яка надає пріоритет нетоксичності та екологічній стійкості. Однак важливо визнати обмеження поточного дослідження, особливо щодо комплексної оцінки довгострокової ефективності та впливу на навколишнє середовище цих альтернативних пластифікаторів у різних застосуваннях. Майбутні дослідження повинні бути зосереджені на кількісному визначенні ефективності цих зелених пластифікаторів у різноманітних композиціях нафтових бітумів, а також на проведенні оцінок життєвого циклу, щоб переконатися, що переваги переходу на варіанти на біологічній основі переважають будь-які потенційні недоліки. Крім того, співпраця між

зацікавленими сторонами галузі, регулюючими органами та некомерційними організаціями має вирішальне значення для сприяння прийняттю стійких практик і розвитку більш екологічно свідомого підходу до розробки пластифікаторів. Зрештою, оскільки обізнаність споживачів щодо проблем навколишнього середовища продовжує зростати, перехід до нетоксичних і стійких пластифікаторів є не просто тенденцією, а необхідною еволюцією в нафтовій промисловості та промисловості пластмас, яка узгоджується з більш широкими суспільними цілями охорони здоров'я та довкілля.

РОЗДІЛ 1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз джерел літератури за темою роботи

1.1.1. Сфери застосування бітумів . Є два основних способи застосування бітумів – як в’яжуча речовина та як ізоляційне покриття. Близько 90% світового виробництва нафтового бітуму призначається для будівництва доріг, де він використовується як в'яжучий матеріал. Асфальтобетонні суміші є одними з найбільш часто використовуваних дорожніх матеріалів для будівництва та ремонту дорожніх покриттів.

Покрівельні матеріали на основі нафтового бітуму в основному використовують для виробництва гідроізоляційних матеріалів для покрівель промислових, громадських та інших будівель. Вони водонепроникні і стійкі до руйнування при низьких температурах, нетоксичні і можуть безпечно використовуватися для покриття поверхонь різного призначення.

Бітуми часто використовують як антикорозійні покриття, оскільки вони стійкі до атмосферної та хімічної корозії. Антикорозійні матеріали виготовляються у вигляді мастики. Використовуються для покриття підземних і надземних металевих конструкцій, як ізоляційний шар при будівництві магістральних газопроводів, нафтопроводів тощо (Патент 28399)

До інших сфер використання бітуму відносяться: будівництво цивільних і промислових будівель і споруд; покриття для виробів радіопромисловості; використання як пластифікаторів коксу; отримання акумуляторних мастик, електроізоляційних стрічок і труб; мастило для прокатних станів; колоїдні розчини, які використовуються при бурінні нафтових і газових свердловин тощо.

1.1.2. Склад бітумів. Сировиною для виробництва бітуму служить гудрон (залишок від перегонки сирої нафти або газового конденсату) і мазут з газового конденсату. Також часто використовуються продукти вторинної переробки нафти, зокрема залишки крекінгу, важкий газойль, отриманий з каталітичного

крекінгу, побічні продукти видобутку нафти – асфальти деасфальтизації, екстракти селективного очищення, природні бітуми тощо (ДСТУ 4044 – 2001)

Бітум складається з великої кількості хімічних сполук, які важко ідентифікувати через різноманітність сировини та високу молекулярну масу. Тому прийнято визначати груповий хімічний склад бітуму. Залежно від розчинності сполук у різних розчинниках бітуми поділяються на окремі групи. За методом Маркуссона до складу бітумів входять масла, смоли, асфальтени, асфальтогенні кислоти та їх ангідриди, карбени і карбоїди. Часто використовується загальноприйнятий поділ бітумів на асфальтени і мальтени (суміш масел і смол). Властивості нафтових бітумів залежать від їх групового складу. Кожен інгредієнт впливає на певні властивості. Тому для отримання товарних бітумів різних марок необхідно досягти оптимального співвідношення асфальтенів, смол і масел з урахуванням необхідного вмісту ароматичних вуглеводнів і мінімального вмісту твердих парафінових вуглеводнів (ДСТУ Б В.2.7-119:2011).

Нафти — в'язкі рідини жовтого кольору із середньою щільністю 911—923 кг/м3 і молекулярною масою 240—800 г/моль. Масла є сумішшю парафінових, нафтенових, моно-, бі- та поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Масла характеризують дисперсне бітумне середовище. Вони роблять бітум рухливим і текучим, збільшують випаровуваність, знижують температуру розм'якшення і твердість бітуму.

Смоли - це суміш високомолекулярних органічних сполук циклічної та гетероциклічної будови з високим ступенем конденсації, з'єднаних аліфатичними ланцюгами, які мають різну консистенцію - від в'язкої маси до твердих крихких речовин, щільністю 980-1060 кг. /м3 і молекулярною масою 300-2200 г/моль. Вони також містять наступні елементи: кисень, сірку, азот і ряд важких металів. Розчинниками і стабілізаторами асфальтенів є смоли. У разі термічних реакцій, окислення або гідрування, смоли є сировиною для утворення

асфальтенів. Вони є носіями твердості (частково), пластичності та розтяжності бітуму (ДСТУ Б В.2.7-129:2013 – 2014).

Бітуми — тверді крихкі речовини чорного кольору з густиною 1010—1240 кг/м3 і молекулярною масою 1200—200000 г/моль. Асфальтени являють собою суміші висококонденсованих гетероциклічних сполук і являють собою 5-6 шарові кристалічні структури, що складаються з пластинок з аліфатичними бічними ланцюгами та нафтеновими кільцями, які містять полярні функціональні групи та атоми кисню. Вони є продуктом згущення смоли. Асфальтени нерозчинні в насичених вуглеводнях нормальної будови, спиртах і спиртово-ефірних сумішах, але вільно розчиняються в бензолі та його гомологах, сірковуглеці, хлороформі та чотирихлористому вуглеці. Вміст асфальтенів визначає температурну стабільність, в'язкість і твердість (крихкість) бітуму. Основну структуру бітумів складають асфальтени та смоли (ДСТУ Б В.2.7-129:2013 – 2014)

Карбени і карбоїди — продукти високотемпературної обробки нафти і її залишків з максимальним вмістом вуглецю. Карбени розчиняються в сірковуглеці та піридині. Карбоїди, проте, нерозчинні ні в якому розчиннику. Їх вміст в товарних бітумах зазвичай не перевищує 1-3% мас. Збільшення вмісту карбенів і карбоїдів підвищує в'язкість і крихкість бітуму (ДСТУ Б В.2.7-129:2013 – 2014)

Асфальтогенні кислоти та їх ангідриди являють собою буро-сірі речовини густої смолистої консистенції, щільність яких перевищує 1000 кг/м3. Їх вміст у нафтових асфальтах невеликий (до 1% мас.) і свідчить про інтенсивність зчеплення асфальтів з мінеральними матеріалами. Асфальтогенні кислоти розчинні в спирті або хлороформі і малорозчинні в бензині (ДСТУ Б В.2.7-129:2013 – 2014).

1.1.3. Одержання бітумів. Бітум може бути природного походження або отриманий в результаті обробки корисних копалин (сирої нафти, торфу, вугілля

або сланців). Найпоширенішими є нафтові бітуми, які для використання наносять на поверхню або змішують з мінеральним матеріалом у розплавленому (в'язкому) вигляді, у вигляді розчинів (рідких) або у вигляді водоемульсійної суміші. Через низку проблем, насамперед екологічного характеру, рідкі бітуми зараз не виробляються. Отже, наведені нижче дані огляду літератури стосуються в’язких нафтових бітумів і бітумних емульсій на їх основі.

У таблиці 1.1.1 подано загальну класифікацію бітумів на нафтовій основі за способом виробництва.

Таблиця 1.1.1

Класифікація нафтових бітумів за способом одержання.

Спосіб одержання	Різновиди
Залишкові (дистиляційні)	Мазути
	Напівгудрони
	Гудрони
Крекінгові	Залишки термічного крекінгу дистилятів
	Залишки термічного крекінгу мазутів
	Залишки вісбрекінгу
	Залишки піролізу
Виділені селективними розчинниками (осаджені)	Асфальти процесів деасфальтизації
	Екстракти селективною очищення дистилятних і залишкових олив
Окиснені	Киснем повітря
	Сіркою, селеном чи телуром
	Пароповітряною сумішшю із застосуванням ініціаторів

Продовження таблиці 1.1.1

Спосіб одержання	Різновиди
Компаундовані	Суміші залишків, виділених різними селективними розчинниками
	Суміші залишкових бітумів з окисненими бітумами
	Залишкові з крекінговими дистилятами
	Суміші окиснених бітумів різної глибини окиснення

1.1.4. Властивості бітумів. Основні властивості нафтових бітумів. Нафтовий бітум повинен мати такі властивості :

• фізичний;

• фізико-хімічні;

• хімічні;

• фізико-механічні властивості.

Фізичні властивості характеризують стан матеріалів, характеризують їх зв'язок з фізичними впливами середовища на них. Фізичні властивості включають густину, водостійкість, а також теплофізичні, магнітні, оптичні та поверхневі властивості.

Щільність бітуму залежно від його групового складу коливається від 0,8 до 1,3 г/см3.

Водостійкість характеризується вмістом водорозчинних речовин (вміст не повинен перевищувати 0,2-0,3% мас.).

До теплофізичних властивостей відносять стійкість до нагрівання (характеризує втрату маси при нагріванні до 160°С протягом 5 годин) і температуру спалаху (характеризує наявність у сировині низькокиплячих компонентів, а також їх вибухонебезпечність і пожежонебезпечність при виробництві та використанні).

Магнітні та оптичні властивості характеризують структуру частинок, а діелектричні — структуру бітуму.

Властивості поверхні визначають адгезію і водостійкість поверхні.

Фізико-хімічні властивості включають в себе також поверхневий натяг, старіння та реологічні властивості бітумів.

Поверхневий натяг бітуму при температурі 20-25°С становить 25-35 ерг/см^2. Старіння - це процес повільної зміни складу і властивостей бітуму, що супроводжується підвищенням крихкості і зниженням гідрофобності. Процес старіння прискорюється під впливом сонячного світла і кисню в повітрі, завдяки зниженому вмісту смол і масел.

Реологічними властивостями бітуму є дисперсність, в'язкість, модуль деформації та модуль пружності, які залежать від групового складу та структури бітуму. Зазначені властивості не повинні істотно змінюватися при нагріванні бітуму.

Хімічні властивості характеризують стійкість бітуму та бітумних матеріалів до дії агресивних речовин та середовищ, що викликають корозію цементобетону, металів та інших будівельних матеріалів. Бітумні матеріали стійкі до дії лугів, фосфорної, сірчаної, хлоридної та оцтової кислот. Бітуми розчиняються в більшості органічних розчинників, за винятком низькомолекулярних спиртів.

Фізико-механічні властивості бітуму характеризуються зміною твердості, пружності та пластичності під дією навантажень.

Твердість визначається за глибиною проникнення стрілки пенетрометра в бітум. Цей показник характеризує глибину проникнення тіла стандартної форми в напіврідкі та напівтверді продукти за певних умов, тобто показує здатність цього тіла проникати в продукт, а продукт чинити опір цьому проникненню.

Температуру розм'якшення визначають за допомогою приладу «круг і кулька», поміщеного в посудину з водою, вона відповідає температурі води, при

якій металева кулька під дією своєї ваги проходить через круг, зліплений з бітума.

Температура крихкості — це температура, при якій матеріал розтріскується під дією короткочасного навантаження. Температура крихкості характеризує поведінку бітуму в покритті: чим вона нижча, тим краще бітум.

Дуктильність (розтяжність) характеризується абсолютним подовженням (см) бітуму при температурі 25°С.

Когезія і адгезія. Адгезія - це здатність одного матеріалу зчепитися з поверхнею іншого в результаті виникнення і розвитку молекулярних зв'язків у зоні зчеплення органічних в'яжучих з кам'яними матеріалами. Когезія - це сила, яка діє між частинками усередині фази. Вона характеризує межу міцності органічного в’яжучого при зсуві або розтягуванні за певної швидкості деформації або навантаження.

Також варто зазначити, що причинами невеликого терміну служби та руйнування покриттів є недостатньо високі експлуатаційні властивості та вимоги нормативних документів до товарних бітумів.

Переважна більшість окислених дорожніх бітумів має погані властивості. По-перше, це низькі експлуатаційні властивості товарних бітумів (бітум характеризується низькою термостійкістю та адгезійними властивостями, що призводить до незадовільної довговічності дорожнього покриття). Друга проблема полягає в тому, що при використанні традиційних «гарячих» (беземульсійних) технологій виробництва бітумно-мінеральних сумішей бітумні матеріали піддаються додатковому окисленню, що призводить до швидкої зміни властивостей в’яжучого в процесі експлуатації дорожнього полотна. Тому актуальним є пошук недорогих речовин, які покращують властивості окислених нафтових бітумів, насамперед адгезійні.

1.1.5 Модифікатори бітумів. Для вирішення вищезазначених проблем, що виникають при виробництві та використанні бітуму, можна безпосередньо

підвищити якість самого бітуму (в першу чергу окисленого) шляхом введення до його складу різних модифікаторів.

Для забезпечення потреб дорожньої інфраструктури в умовах зростаючого транспортного потоку та враховуючи кліматичні особливості використання дорожніх бітумів звичайних марок, переважно, не є достатнім (Панченко В.О. 2005)

Звичайні марки дорожніх бітумів зазвичай характеризуються поганою адгезією, низькотемпературними і низькопластичними властивостями, що в кінцевому підсумку призводить до незадовільної довговічності дорожнього покриття. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є введення до складу товарного дорожнього бітуму різних модифікаторів. Модифіковані бітуми характеризуються кращою адгезією, гнучкістю, більшим терміном служби, а також нижчою температурою крихкості та вищою температурою розм'якшення (Патент 28399)

Модифікація бітуму має доволі довгу історію, починаючи з 1950-х років. Однією з перших речовин, що використовувалися як модифікатори бітуму, був неопрен (хлоропреновий каучук), який широко використовувався в Північній Америці (Червенюк В. 2012) У провідних країнах світу використання модифікованого бітуму в дорожній галузі з кожним роком зростає завдяки його перевагам перед немодифікованим матеріалом. Модифікований бітум забезпечує підвищену стійкість дорожнього покриття до впливу високих температур, зменшує ризик утворення тріщин, а також покращує довговічність дороги в умовах інтенсивного руху та змін клімату.У таблиці 1.1.2 наведено структуру споживання нафтового бітуму в Європі в дорожній галузі за даними EAPA (European Asphalt Pavement Association).

Таблиця 1.1.2

Структура споживання бітуму в Європі

Країна	Тоннаж у 2014 році (у мільйонах тонн)	% модифікованих бітумів (від загальної кількості)				Емульсій в 2014(в млн. тонн)
		в 2011	в 2012	в 2013	в 2014	
1	2	3	4	5	6	7
Австрія	0,37	25,0	25,0	30,0	18,9	0,005
Бельгія	0,21	25,5	27,0	25,4	26,5	-
Чехія	0,33	18,0	22,4	22,1	21,5	0,008
Данія	0,19	5,0	5,0	5,0	5,0	0,020
Естонія	0,08	-	-	4,0	3,3	0,016
Фінляндія	0,27	0	-	0	0	0,001
Франція	2,47	<10	13,0	13,0	6,9	0,792
Німеччина	1,60	-	-	-	-	-
Великобританія	1,28	8,0	8,0	8,0	8,0	0,100
Греція	-	2,0	1,5	2,2	-	-
Угорщина	0,19	11,0	15,4	30,0	25,0	0
Ірландія	0,13	-	-	-	-	0
Італія	-	14,0	13,0	14,0	-	-
Люксембург	0,05	20,0	30,0	-	15,0	-
Нідерланди	0,30	-	-	5,0	-	-
Норвегія	0,35	15,0	-	-	-	-
Польща	-	21,0	22,0	25,0	-	-

Продовження таблиці 1.1.2

Країна	Тоннаж у 2014 році (у мільйонах тонн)	% модифікованих бітумів (від загальної кількості)				Емульсій в 2014(в млн. тонн)
		в 2011	в 2012	в 2013	в 2014	
1	2	3	4	5	6	7
Румунія	0,20	74,0	45,0	76,0	75,0	0
Сербія	0,26	14,7	6,0	4,2	4,4	-
Словаччина	0,08	60,0	37,0	31,0	29,1	0
Словенія	0,07	10,0	11,0	9,0	10,0	-
Іспанія	0,56	13,1	19,6	10,0	15,0	0
Швеція	0,45	6,0	5,0	-	7,0	0
Швейцарія	0,28	10,0	11,0	2,0	12,0	0
Туреччина	2,39	8,0	7,5	4,4	3,2	0,026

У європейських країнах ця частка становить понад 10%. Лідери по використанню: Румунія – 75%; Словаччина – 29,1%, Бельгія – 26,5%; Угорщина – 25%; Чехія – 21,5% (Гарячі бітумні і бітумно-гумові мастики).

Залежно від типу добавки, що вводиться в дорожній бітум, модифікований бітум можна розділити на:

• бітуми дорожні полімермодифіковані (БМП);

• дорожні бітуми, модифіковані адгезивними добавками (БА).

Модифіковані бітуми, виготовлені на основі в'язких нафтових дорожніх бітумів з додаванням термопластичних полімерів і, при необхідності, адгезивних добавок і пластифікаторів.

Залежно від призначення, глибини проникнення голки (пенетрації) при 25°С і температури розм’якшення круга і кульки БМП поділяють на ступені (Кемалов 2007):

• БМПА 40/60-57, БМПА 60/90-53, БМПА 90/130-50, БМПА 130/200-48 - для приготування гарячих асфальтобетонних сумішей;

• БМПЗ 60/90-56, БМПЗ 90/130-53 - для укладання функціональних і захисних шарів;

• БМПП 60/90-64 - для будівництва та ремонту дорожнього покриття на дорогах (ділянках) з інтенсивністю руху понад 7 тис. транспортних одиниць/добу хоча б на одній смузі.

• БМПМ 130/150-65 - для укладання мембранних шарів.

Дорожні бітуми, модифіковані адгезійними добавками (БА) — бітуми різних марок на нафтовій основі, які містять адгезивні добавки. БА характеризуються міцним зчепленням з поверхнею мінеральних матеріалів, що забезпечує високу водостійкість асфальтобетону і підвищує стійкість дорожнього покриття до відшарування, ям і тріщин.

Залежно від глибини проникнення голки при температурі 25°С, нижньої межі температури розм'якшення (для полімермодифікованих дорожніх бітумів) і типу вихідного бітуму БА поділяють на марки (Солодкий С.Й. 2013):

• БДА 40/60, БДА 60/90, БДА 90/130, БДА 130/200;

• БМВА 40/60, БМВА 60/90, БМВА 90/130, БМВА 130/200;

• БМПА 40/60-56, БМПА 60/90-52, БМПА 90/130-49, БМПА 130/200-47;

• BMSA 40/60, BMSA 60/90, BMSA 90/130, BMSA 130/200;

• БНДА 40/60, БНДА 60/90, БНДА 90/130, БНДА 130/200.

1.1.6. Пластифікатори бітумів. Пластифікатори відіграють вирішальну роль у покращенні властивостей бітуму, зокрема у покращенні його гнучкості та придатності до обробки. Ці добавки функціонують шляхом ефективної дисоціації молекул окисленого бітуму, процес, який підтверджено різними аналітичними характеристиками та моделюванням молекулярної динаміки. Ці дослідження проілюстрували, як пластифікатори змінюють просторове розташування та розподіл асфальтенів у асфальтовій матриці, тим самим

підвищуючи її загальні характеристики. Серед поширених пластифікаторів дибутилфталат (DBP) і трибутилцитрат (TBC) викликають особливий інтерес через їх омолоджуючий вплив на старий бітум. Дослідження показують, що обидва пластифікатори можуть відновити реологічні характеристики окисленого бітуму, що є критичним для збереження цілісності матеріалів для дорожнього покриття. Крім того, аналізи показали, що пластифікатори покращують молекулярну рухливість окисленого бітуму, тим самим розширюючи спектр релаксації та розширюючи область склування, що сприяє зменшенню ефектів старіння. Примітно, що TBC був визначений як більш ефективний, ніж DBP, у цій здатності до омолодження, що пояснюється його вищою молекулярною полярністю та його здатністю утворювати водневі зв'язки з окисленими молекулами бітуму. Останні результати також свідчать про те, що типові пластифікатори можуть служити ефективними омолоджувачами, полегшуючи переробку окисленого бітуму для дорожнього покриття та сприяючи більш екологічним методам будівництва. Таким чином, введення пластифікаторів у бітум не тільки покращує його ефективність, але й підтримує екологічні ініціативи в асфальтній промисловості.

Додавання в бітум таких пластифікаторів, як дибутилфталат (DBP) і трибутилцитрат (TBC), не тільки омолоджує старі матеріали, але й покращує їх загальну продуктивність і довговічність у дорожніх застосуваннях. Примітно, що ці пластифікатори продемонстрували дивовижну здатність відновлювати низькотемпературні характеристики до рівня, порівнянного з первинним бітумом, що має вирішальне значення для запобігання розтріскування в холодних погодних умовах. Крім того, пом'якшувальні ефекти DBP і TBC є значними; вони ефективно зменшують жорсткість старого бітуму, дозволяючи йому зберігати гнучкість і структурну цілісність під навантаженням. Важливо, що використання пластифікаторів не ставить під загрозу суттєву жорсткість і еластичність, необхідні при високих температурах, гарантуючи, що бітум все ще

може витримувати суворі умови інтенсивного руху без остаточної деформації. Крім того, реологічні характеристики цих пластифікаторів свідчать про те, що вони служать омолоджувачами, а не простими пом'якшувачами, позитивно впливаючи на фазовий кут матеріалу та сприяючи підвищенню стійкості до розтріскування та довговічності. Ця комбінація переваг вказує на те, що пластифікатори відіграють життєво важливу роль у збільшенні довговічності дорожніх покриттів не лише за рахунок продовження терміну служби асфальту, але й за рахунок мінімізації частоти ремонтів і замін, необхідних з часом. Молекулярна взаємодія між пластифікаторами та окисленими асфальтенами додатково підвищує їхню ефективність, підкреслюючи важливість розуміння цих механізмів для повного використання їхніх переваг у будівництві та обслуговуванні доріг.

Ефективність різних пластифікаторів при змішуванні з дорожнім бітумом значно відрізняється, що впливає на загальні характеристики асфальту. Наприклад, дослідження показують, що і DBP, і TBC не тільки відновлюють жорсткість і здатність до релаксації зістареного бітуму, але також підвищують його стійкість до розтріскування, що робить їх особливо цінними в складі бітуму. Однак ефективність пластифікаторів залежить не лише від їх типу, а й від специфічних властивостей, необхідних для виробництва полімер-модифікованого бітуму (ПМБ). Це означає, що оптимальний вибір пластифікатора повинен враховувати передбачуване застосування та бажані характеристики асфальтобетонної суміші. Крім того, було показано, що додавання пластикових відходів до бітуму покращує його фізичні властивості, сприяючи сталому розвитку та довговічності дорожніх покриттів за рахунок задоволення зростаючих вимог щодо навантаження на вісь інфраструктури. Крім того, усі чотири вивчені пластифікатори продемонстрували здатність зменшувати розмір великих і середніх молекулярних груп в бітумі, ефективно зменшуючи міжмолекулярні сили, що може призвести до покращення текучості

під час змішування. Отже, вибір пластифікатора не тільки впливає на характеристики бітуму з точки зору еластичності та стійкості до втоми, але також відіграє вирішальну роль у забезпеченні сумісності різних добавок, таких як регенерована гума та SBS, у бітумній матриці. Таким чином, розуміння різних ролей і ефектів різних пластифікаторів має важливе значення для оптимізації складу асфальту, адаптованого до конкретних умов навколишнього середовища та навантажень.

1.1.7. Висновки

Немодифікований бітум часто не може використовуватись для будівництва дорожнього полотна, так як він не відповідає експлуатаційним вимогам, тому потрібно вводити модифікатори для покращення його властивостей. Часто модифікатори покращують теплостійкість, адгезійні характеристики, проте можуть погіршувати пластичні властивості (пенетрацію, дуктильність тощо). У цьому випадку поряд з модифікатором необхідно додавати пластифікатор.

1.2. Характеристика використовуваних речовин, методики експериментів та аналізів.

1.2.1. Характеристики вихідних речовин та матеріалів. Для одержання модифікованих бітумів використовували: дорожній бітум марки БМПА 70-100, відібраний на Львівській асфальтно-бітумній базі.

Характеристики сировини наведені в табл. 1.2.1

Таблиця 1.2.1

Характеристики бітумів

Показник	Бітум	Норма за для марки БМПА 70/100
1 Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 ^{O}C, м·10^{-4} (0,1 мм)	68	Від 71 до 90
2 Температура розм'якшення за кільцем і кулею, ^{O}C	48	Від 45 до 51
3 Розтяжність (дуктильність), м·10^{-2} (см), 3.1 За температури 0 ^{O}C 3.2 За температури 25 ^{O}C	- 6 75	- ≥ 3,8 ≥ 60
4 Зміна властивостей після прогрівання:	-	-
4.1 Зміна маси після прогрівання, %	0,2	≤ 0,9
4.2 Залишкова пенетрація, %	50	≥ 59
4.3 Зміна температури розм'якшення, ^{O}C	4	≤ 6,0
5 Температура крихкості, ^{O}C	-15	≤ -13
6 Температура спалаху, яку визначають у відкритому тиглі, ^{O}C	235	≥ 230
7 Зчеплюваність зі склом	46	≥18
8 Масова частка парафінів , %	5,1	Не нормується
9 Розчинність в органічному розчинникові, %	99,9	≥ 99,00
10 Індекс пенетрації	-1,0	Від -2,0 до +1,0

Таблиця 1.2.2

Структурно-груповий аналіз бітумів

Компонент	Бітум
Карбени, карбоїди та мех. домішки	0,6
Асфальтени	25,3
Смоли	24,2
Оливи	49,9
Тип структури	гель
А/О+С	0,34
А/А+С	0,51

Дані табл. 1.2.1 доводять, що вихідні бітуми відповідають вимогам нормативних документів за винятком пенетрації та залишкової пенетрації. Як свідчать дані табл. 1.2.2, вихідний бітум відноситься до структури гель, яка є небажаною для в'яжучих матеріалів, що застосовуються у дорожньому будівництві.

Як модифікуючі речовини для виробництва модифікованих бітумів використовували такі речовини:

- промисловий модифікатор Kraton D 1152 – лінійний блок-кополімер на основі стиролу і бутадієну;
- інден-кумаронова смола (ІКС), одержана на каф. ХТНГ.

Характеристики модифікаторів подано у табл. 1.2.3

Таблиця 1.2.3

Характеристики модифікаторів

Назва	Характеристики	Температура текучості, ^{O}C
Kraton D 1152	Лінійний блок-кополімер на основі стиролу і бутадієну	200

Таблиця 1.2.4

Характеристики ІКС

Показник	Значення
Температура розм'якшення, ^{0}C	135
Молекулярна маса	820
Бромне число, г Br_2/100 г ІКС	27,5

В якості пластифікаторів модифікованого бітуму використовували ряд сполук з порівняно високим вмістом олив ароматично-нафтенової основи, а саме:

- гудрон західноукраїнських нафт відібрані на західноукраїнських НПЗ;
- смолу низькотемпературної газифікації бурого вугілля

Таблиця 1.2.5

Характеристики гудронів

Показник	Гудрон суміші західноукраїнських нафт
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, ^{O}C	44
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 ºС , см	16
Глибина проникнення голки за температури 25 ^{O}C, м·10^{-4} (0,1 мм)	97

Таблиця 1.2.6

Показники якості смоли, отриманої в результаті низькотемпературної газифікації бурого вугілля

Назва показника	Показники якості смоли газифікації бурого вугілля
1. В'язкість -умовна за температури 80 °С, умовні градуси -кінематична за температури 80 °С, сст	4,6 33,09
2. Зольність, % мас.	0,087
3. Густина при 20 °С, кг/м^3	1050
4. Вміст сірки, % мас.	1,33
5. Коксивність, % мас.	9,51
6. Масова частка води % мас.	0,83
7. Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	115
8. Температура застигання, °С	43

1.2.2. Методики експериментів. Одержання модифікованих бітумів. БМП готували у наступній послідовності: відбирали необхідну кількість бітуму, розігрівали його до фіксованої температури після цього додавали необхідну кількість модифікатора і вмикали перемішування (Re = 1200). Модифікацію проводили протягом 2 годин. Кількість полімеру визначали експериментально, виходячи з необхідності одержання БМП з температурою розм'якшення близько 55 ^{O}С (згідно (ДСТУ Б В.2.7-135:2007) для бітумів, модифікованих полімерами, марки БНД 70/100 вона повинна бути не менше 55 ^{O}С).

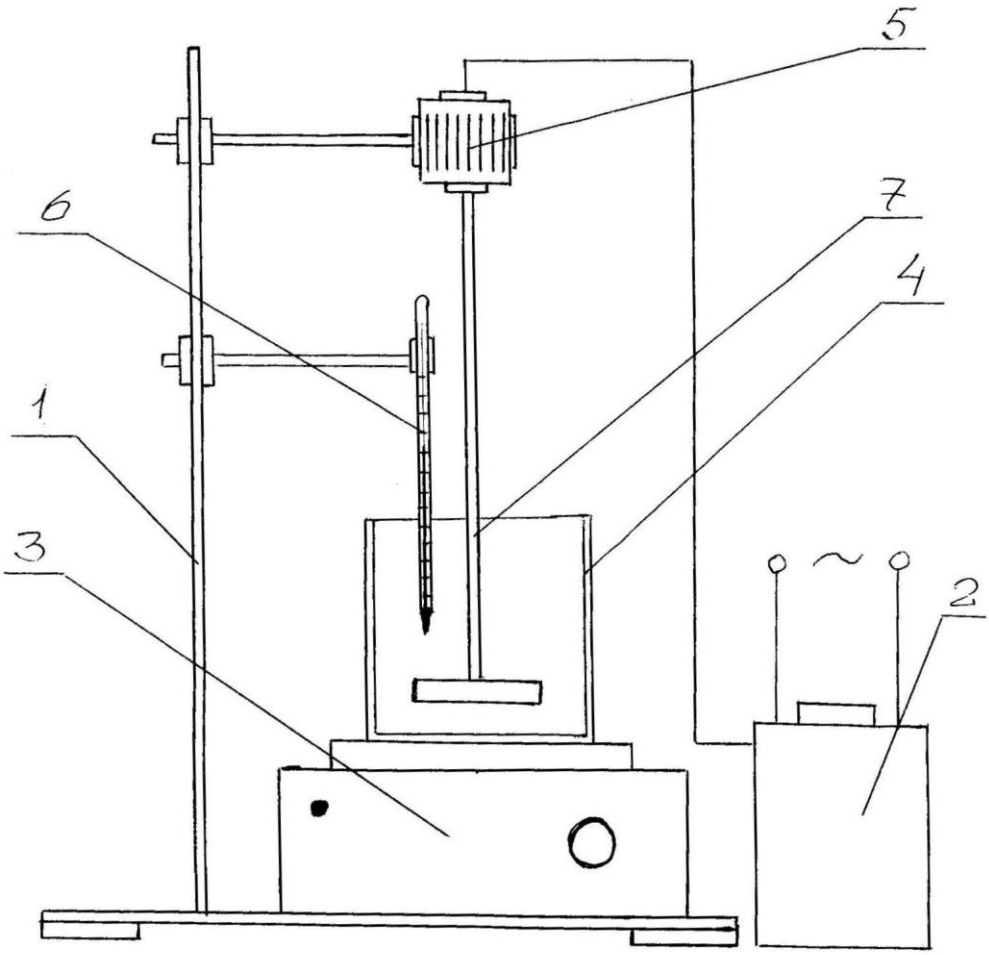


Рис. 2.4. Лабораторна установка для одержання модифікованих бітумів:

1 – штатив; 2 – блок живлення; 3 – електронагрівач; 4 – ємність;

5 – електродвигун; 6 – термометр; 7 – перемішувальний пристрій.

Температура процесу – Т =110^{0}С

Тривалість процесу τ = 2 години

1.2.3. Методики аналізів. Аналіз фізико-технолгічних показників бітумів здійснювали згідно стандартизованих методик:

– температуру розм’якшення бітумів – методом «кільця та кулі» відповідно до (Slurry surfacing - Test methods - Part 4: Determination of cohesion of the mix: EN 12274-4. – 2003. – 18 p.)

– пенетрацію (глибину проникнення голки) – згідно (ГОСТ 5346-78);

– дуктильність бітумів визначали – відповідно до (ДБН В.2.3-4:2015);
– температуру спалахнення у відкритому тиглі – згідно (ГОСТ 11505-75: 2008);
– показник «зчеплювальність зі склом» – згідно (ДСТУ Б В.2.7-81-98.);
– індекс пенетрації бітумів – за стандартними таблицями в залежності від їхньої температури розм'якшення і глибини проникнення голки (пенетрації) за (Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови: ДСТУ 4044 – 2001.);
– температуру крихкості бітумів – згідно (ГОСТ 20287-91);
– інтервал пластичності бітумів визначали за формулою:

$$\Delta T = T_P - T_{KP}\ ,\ ^oC,$$

де T_P – температура розм'якшення, ºС, T_{KP} – температура крихкості, ºС;

– зміну властивостей бітумів після прогріття – згідно пункту 9.7(ДСТУ Б В.2.7-135:2007)
– масову частку парафінів – згідно (ГОСТ 11507-78);
– розчинність у органічному розчиннику – згідно (ГОСТ 17789-72);
– однорідність – згідно пункту 9.3 (ДСТУ Б В.2.7-135:2007);
– еластичність – згідно пункту 9.5 (ДСТУ Б В.2.7-135:2007);
– зміну властивостей після прогріття – згідно пункту 9.7 ((ДСТУ Б В.2.7-135:2007);
– розшарування при зберіганні – згідно пункту 9.8 (ДСТУ Б В.2.7-135:2007);

Структурно-груповий хімічний склад бітумів визначали екстракційно-адсорбційним методом Маркуссона (ДСТУ Б В.2.7-119:2011).

Диференційно-термічний аналіз (ДТА) вихідного і модифікованого бітуму проводили на дериватографі в динамічному режимі зі швидкістю нагріву 10 ºС/хв, у середовищі повітря. Маса зразка становила 50 мг, чутливість за шкалою

термогравіметричного аналізу (ТГ) складала 50 мг, за шкалою ДТА – 250 мкВ. Еталонною речовиною був алюміній оксид.

Молекулярну масу ІКС визначали кріоскопічним методом (ДСТУ 4402:2005) бромне число – за стандартною методикою (ДСТУ 4402:2005).

Для смоли, яка утворювалась в процесі газифікації бурого вугілля визначали наступні показники: масовий вміст сірки згідно (ГОСТ 1437-75: 2006); кінематичну в'язкість згідно (ГОСТ 33-2000: 2008.), на основі якої розраховували зольність згідно (ГОСТ 1461-75: 2006); коксивність за Конрадсоном згідно (ГОСТ 1461-75: 2006); температуру застигання згідно (ГОСТ 19932-99: 2006), температуру спалаху в відкритому тиглі згідно (ДСТУ ГОСТ 4333:2018); густину згідно (ГОСТ 4333-87: 2008); масовий вміст води згідно (ГОСТ 3900-85: 2024).

1.3 Результати досліджень та їх обговорення

Згідно з попередніми дослідженнями (Pyshyev, S 2024, Astakhova, O. 2019, Bratychak, M. 2018), які проводилися на кафедрі ХТНГ, було запропоновано модифікувати бітум ІКС.

1.3.1. Згідно досліджень, було запропоновано модифікувати бітум від 1 до 7 % мас. модифікатора. Мною було запропоновано модифікувати 10 % мас. ІКС, тому що при використані ІКС в кількості від 1 до 7 % одержаний БМПА не відповідає вимогам нормативних документів до: температури розм'якшення, пенетрації, та адгезії (окрім БМПА де вміст модифікатора становить 7 %). Характеристики БМПА при різній кількості модифікатора наведено у таблиці 1.3.1

Таблиця 1.3.1

Вплив кількості ІКС на властивості БМПА

Показник	Кількість ІКС, % мас.						Вимоги згідно ДСТУ 9116:2021
	0	1	3	5	7	10	
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, ^{O}C	48	47	48	49	52	58	≥55
Розтяжність, за температури 0 ^{O}C, $м \cdot 10^{-2}$ (см)	55	53	45	34	21	8	≥8
Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 ^{O}C, $м \cdot 10^{-4}$ (0,1 мм)	68	52	48	41	38	26	71-100
Зчеплення зі склом, %	44	47	55	62	100	100	≥75

При додаванні ІКС в кількості 10 % мас. значення температури розм'якшення, адгезії і дуктильності відповідають вимогам (ДСТУ 9116:2021). Щодо пенетрації, то при збільшені кількості модифікатора пластичні властивості БМПА знижуються.

Для вирішення цієї проблеми необхідно використовувати дешеві пластифікатори, які могли б покращити пластичні властивості БМПА. До одних із них належить гудрон.

1.3.2 Застосування гудрону в якості пластифікатора. Використовуючи попередні наукові дослідження, які здійснювалися на кафедрі ХТНГ, було запропоновано обхідну кількість гудрону для покращення пластичних властивостей БМПА (становить 11 % мас. – БМПА II). Матеріальний баланс наведено у таблиці 1.3.2, а характеристики БМПА наведено у таблиці 1.3.3.

Також для порівняння було проведено модифікування бітуму промисловим модифікатором Kraton D 1192, вміст якого становить 3% мас. з 11% мас. гудрону, який виготовлений з західноукраїнських нафт, (БМПА III).

Таблиця 1.3.2

Матеріальні баланси отримання БМПА

Назва БМПА	Вміст, % мас.		
	Бітуму	Модифікатору	Пластифікатору
БМПА I	90	10	-
БМПА II	79	10	11
БМПА III	86	3	11

Таблиця 1.3.3

Характеристики БМП

Назва показника	Норми для марки БМПА 70/100-55	Фактичне значення		
		БМПА I	БМПА II	БМПА III
1 Однорідність	У БМП не повинно спостерігатися згустків та частинок полімеру	Однорідний	Однорідний	Однорідний
2 Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	71-100	26	71	62
3 Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	≥ 55	58	55	55
5 Розтяжність (дуктильність) за температури 0 °С, см	≥ 8,0	8	31	25
6 Еластичність за температури 25 °С, %	≥ 55	45	56	55
7 Температура крихкості, °С	≤-13	≤ -13	≤ -15	≤ -16
8 Температура спалахнення у відкритому тиглі, °С	≥240	246	241	241

Назва показника	Норми для марки БМПА 70/100-55	Фактичне значення		
		БМПА I	БМПА II	БМПА III
9 Зміна властивостей після прогріття:				
9.1 Зміна температури розм'якшеності, °С	≤ 5	5	5	5
9.2 Залишкова пенетрація за температури 25 °С	≥ 75	32	75	74
10. Зчеплюваність з поверхнею щебеню, бал	≥4,5	5	5	5
11. Зчеплюваність з поверхнею скла, %	≥75	100	100	100

Як видно з табл. 1.3.3 БМП II та БМП III, відповідають вимогам (ДСТУ 9116:2021) для марки БМПА 70/100-55 в порівнянні з БМП I. Значення показника зчеплення зі склом (адгезія) є високим для всіх зразків, що дає можливість зробити висновок: застосування інден-кумаронової смоли як адгезійного модифікатора до нафтових бітумів є актуальним. Також при використанні пласифікатора, а саме гудрону, вдалося покращити пластичні властивості БМПА.

В таблиці 1.3.3 наведено структурно-груповий аналіз отриманих БМПА. З таблиці видно, що отримані бітуми змінили свою структуру, в порівнянні з структурою вихідного бітуму. Можна припустити, що внаслідок модифікації бітуми зі структури типу гель переходять у структуру золь-гель, що пояснює покращення реологічних та пластичних властивостей. Структура золь-гель

вважається оптимальною для в'яжучих матеріалів, які використовуються у дорожньому будівництві.

Таблиця 1.3.4

Структурно-груповий аналіз модифікованих бітумів

Компонент	Вихідний бітум	БМП II	БМП III
Карбени, карбоїди і механічні домішки	0,6	0,5	0,4
Асфальтени	25,3	23,4	22,0
Смоли	24,2	33,1	35,8
Оливи	49,9	43,0	41,8
Структура	гель	Золь-гель	Золь-гель
А/О+С	0,34	0,28	0,30
А/А+С	0,51	0,37	0,41

Диференціально-термічний аналіз проводили для вихідного бітуму, БМП II та БМП III, що зображено на рис. 1.3.1 та 1.3.2

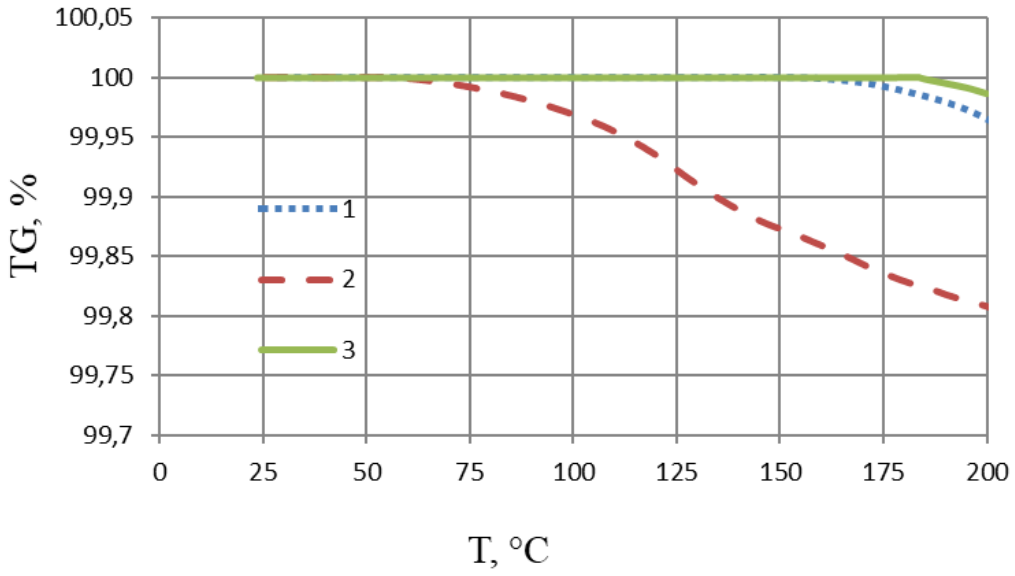


Рис. 1.3.1 Залежність втрати маси від температури

(1 – вихідний бітум, 2 – БМП II, 3 – БМП III)

Як показують представлені дані (рис. 1.3.1), найменшу втрату маси демонструє БМП II, що робить його придатним для застосування за підвищених температур. Натомість використання БМП III за температур понад 100-150 °C є небажаним, оскільки в цьому діапазоні спостерігається незначне збільшення втрати маси (приблизно 0,2 %). З отриманих результатів можна зробити висновок, що бітуми, модифіковані інден-кумароновою смолою, доцільно використовувати в технологіях, які потребують порівняно низьких температур, наприклад, у виробництві бітумних емульсій, де температура нагрівання не перевищує 140 °C.

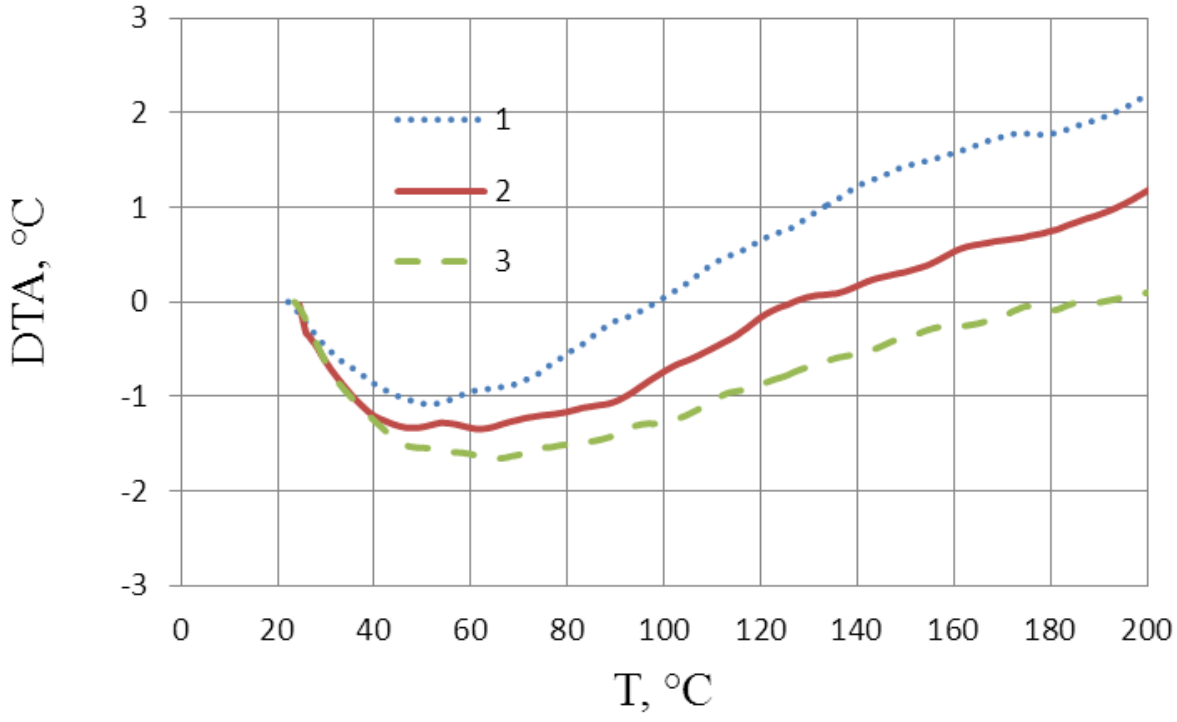


Рис. 1.3.2 Диференцільано-термічний аналіз у потоці повітря
(1 – вихідний бітум, 2 – БМП II, 3 – БМП III)

Результати диференціально-термічного аналізу вихідного та модифікованих бітумів свідчать, що в діапазоні температур 20-100 °C найбільший за модулем ендоефект спостерігається у БМП III. Це вказує на його вищу теплостійкість у порівнянні з БМП II та вихідним бітумом.

1.3.2. Застосування смоли розкладу органічної маси бурого вугілля в якості пластифікатора. Оскільки буре вугілля є природною високомолекулярною ароматичною сполукою, можна припустити, що у смолі, отриманій при розкладі органічної маси бурого вугілля (в ході його газифікації – обробки паро-повітряною сумішшю), містяться ароматичні структури та поверхнево-активні речовини. Ці компоненти потенційно здатні покращити адгезійні та пластичні властивості бітумів. З огляду на це, було запропоновано використовувати смолу розкладу органічної маси бурого вугілля як пластифікатор нафтових бітумів.

Для дослідження використовували бітум, який модифіковали ІКС. Як наведено у таблиці 1.3.1, додавання модифікатора до бітумів суттєво підвищує температуру розм'якшення та покращує їхні адгезійні властивості. Водночас слід зазначити, що вартість ІКС є значно нижчою порівняно з поширеними промисловими полімерними добавками, такими як АДБІТ-Р, СБС, LOTADER AX8900 тощо. Проте додавання ІКС негативно впливає на пластичні властивості бітумів.

Для усунення цих недоліків, тобто покращення пластичних характеристик бітумів, які модифікували ІКС, було запропоновано використовувати смолу розкладу органічної маси бурого вугілля. Результати досліджень представлені в таблиці 1.3.5.

Згідно з отриманими результатами досліджень, які наведено у таблиці 1.3.5, додавання пластифікатору на основі смоли розкладу бурого вугілля покращує пластичні властивості бітуму, майже не впливаючи на температуру розм'якшення.

Однак із збільшенням кількості пластифікатора спостерігається зростання пенетрації та зменшення дуктильності суміші. Оптимальним вмістом пластифікатора визначено 10 % мас. за умови додавання 10,0 % мас. модифікатора. Це забезпечує отримання БМПА, який відповідає вимогам

нормативних документів, а саме ДСТУ 9116:2021 до полімер-модифікованих бітумів за основними характеристиками.

Слід також зазначити, що використання смоли газифікації бурого вугілля як пластифікатора не знижує адгезійних властивостей БМП. Це дозволяє забезпечити надійний зв'язок між в’яжучим та мінеральними матеріалами незалежно від співвідношення компонентів, гарантуючи відмінні адгезійні характеристики.

Таблиця 1.3.5

Дослідження буровугільної смоли в якості пластифікаторів БМП

Умови одержання БМП			Характеристики модифікованих бітумів				
Вміст бітуму, % мас.	Вміст модифі-катора, % мас.	Вміст пластифі-катора, % мас.	Температура розм'якшення за кільцем і кулею, ^{O}C	Розтяжність, $м \cdot 10^{-2}$ за температури 25 ^{O}C (см)	Глибина проникнення голки за температури 25 ^{O}C, $м \cdot 10^{-4}$ (0,1 мм)	Зчеплюваність з поверхнею скла, %	Зчеплюва-ність з поверхнею щебеню, бал
100,0	-	-	48	72	68	44	2,5
90,0	10,0	-	58	25	30	100	5
83,0	10,0	7,0	58	35	38	100	5
82,0	10,0	8,0	57	33	48	100	5
81,0	10,0	9,0	57	32	65	100	5
80,0	10,0	10,0	56	31	71	100	5
Норми згідно ДСТУ 9116:2021			≥ 55	-	71-100	≥ 75	4,5

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

В цьому розділі, на основі даних літератури та експериментальних досліджень розраховано матеріальні баланси процесів модифікованих бітумів. Для розрахунків прийнято продуктивність установки виробництва бітумів близько 85 тис. т/рік.

Розраховано основні апарати установки отримання модифікованих бітумів і запропоновано принципову технологічну схему процесу.

2.1 Матеріальний баланс установки

Приймаємо, що установка працює 340 днів у році. Тоді продуктивність блоку окиснення за сировиною буде становити:

$$G_{\text{с}} = \frac{G_c^p \cdot 1000}{340 \cdot 24} = \frac{85000 \cdot 1000}{340 \cdot 24} = 10417\,\frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

де $G_{сир}^{p}$ = 850000 тонн/рік – річна продуктивність установки.

Виходячі з експлуатаційних даних вміст модифікованих сполук в суміші 2,4%, а вміст бітуму 97,6%. На основі практичних даних приймаємо кількість повітря для окиснення 45%, бітуму 91%, окиснені гази 48%, відгон 5%, витрати 1%. Подальші розрахунки матеріального балансу блоку окиснення зводимо у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Матеріальний баланс блоку окиснення

Стаття	Кількість,		
	% мас. (по бітуму)	т/рік	кг/год
Надходить:			
1. Гудрон	100	85000	10417
2. Повітря	45,00	38250	4687
Усього:	145,00	123250	15104
Отримано:			
1. Бітум	91,00	77350	9479
2. Гази окиснення	48,00	40800	5000
3. Відгін	5,00	4250	520
4. Втрати	1,00	850	105
Усього:	145,00	123250	15104

Склад модифікованих бітумів приймаємо на основі завдання та попередніх досліджень.

Таблиця 2.3.

Матеріальний баланс блоку компаундування

Стаття	Кількість,		
	% мас. на завантаження	т/рік	кг/год
Надходить:			
1. Бітум	79	77350	9479
Модифікатор (ІКС)	10	9791	1199
Пластифікатор	11	10770	1319
Усього:	100,0	97911	11997
Отримано:			
1. БМПП 70/100-55	100,0	97911	11997
Усього:	100,0	97911	11997

Таблиця 2.4

Матеріальний баланс установки

Стаття	Кількість			
	% мас. на сировину	% мас. на завантаження	т/рік	кг/год
Надходить:				
Гудрон	100,00	60	85000	10417
Повітря	45,00	27	38200	4687
Модифікатор ІКС	10	6	9700	1199
Пластифікатор	11	7	10700	1319
Разом	166	100,00	143600	17622
Отримано:				
БМПА 70/100-55	100	68,5	97900	11997
Гази окиснення	48,00	28,5	40800	5000
Відгін	5,00	2,5	4200	520
Втрати	1,00	0,5	800	105
Усього:	148,83	100,00	143600	17622

2.2. Розрахунок розмірів основного обладнання

2.2.1. Розміри колони К-1.3 практичних даних приймаємо такі умови процесу: температура - 250 ^{0}С, абсолютний тиск - 0,25 МПа, тривалість перебування бітуму в зоні реакції – 3,0 год. Розраховуємо окремо висоту діаметр окисної і сепараційної секцій. Необхідно для цього розрахувати об'ємну витрату парів в кожному перетині колони, $м^3/с$:

$$V_{сек.} = \left(\frac{G_{газ.}}{M_{газ.}} + \frac{G_{рід}}{M_{рід}} \right) \cdot 22.4 \cdot \frac{T + 273}{273} \cdot \frac{0.103}{P} \cdot \frac{1}{3600}.$$

Молекулятрну масу розраховуємо рідкого відгону $(M_{рід})$. Розраховуємо на основі його густини за формулою Крега.

$$M_{рід} = \frac{44.29 \cdot \rho_{15}^{15}}{1.03 - \rho_{15}^{15}};$$

$$\rho_{15}^{15} = \rho_{4}^{20} + 5 \cdot \alpha;$$

$$\rho_{15}^{15} = 0{,}88 + 5 \cdot 0{,}000522 = 0{,}8826;$$

$$\mathrm{M}_{\text{рід}} = \frac{44.29 \cdot 0{,}8826}{1.03 - 0{,}8826} = 265{,}2.$$

Приймаємо на основі практичних даних молекулярну масу газів рівною 26,08

Швидкість парів на виході з окисної зони не повинна перевищувати більше, ніж $0.2\ м/с$ [2].

Діаметр колони (окисної секції) розраховуємо за формулі:

$$D_{ок.к.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{сек.}}{U \cdot \Pi}},$$

де $\mathrm{U} = 0{,}4\ \mathrm{м/с}$.

Об'ємна витрата газів і парів в секції окиснення при $T = 250\ ^0C$ і $P = 0.3\ МПа$:

$$V_{\text{сек}} = \left(\frac{5000}{26.08} + \frac{520}{265.2}\right) \cdot 22.4 \cdot \frac{250 + 273}{273} \cdot \frac{0.103}{0.3} \cdot \frac{1}{3600} = 0{,}8\,\frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Тоді:

$$D_{\text{ок.к}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}8}{0.4 \cdot 3.14}} = 1{,}59\ \text{м}.$$

На основі практичних даних, вважаємо що термін окиснення дорівнює 2,0 години. Шукаємо корисний об’єм секції окиснення, м^3:

$$V_{\text{ок.с}} = \frac{\tau \cdot G_c}{\rho_4^{250} \cdot 1000}$$

Де ρ_4^{250} - густина бітуму при 250 ^{0}С, г/см^3.

$$\rho_4^{250} = \rho_4^{20} - \alpha(T - 20), \text{кг/см}^3;$$

$$\rho_4^{250} = 0,962 - 0.000554 \cdot (250 - 20) = 0,8235$$

$$V_{\text{ок.с}} = \frac{2.0 \cdot 10417}{0,8235 \cdot 1000} = 25,3 \text{ м}^3.$$

Приймаємо, що$D_{\text{ок.к}} = 1,59$ м, тоді висота секції:

$$H_{ок.} = \frac{V_{кор}}{0.25 \cdot \Pi \cdot D_{ок.}^2};$$

$$\text{Н}_{\text{ок}} = \frac{25,3}{0.25 \cdot 3.14 \cdot 1,59^2} = 12,4 \text{ м}.$$

Розраховуємо діаметр верхньої (сепараційної) секції, якщо швидкість на виході з колони не має перевищувати 0.10-0.3 м/с^2 Температура в секції – 250^{0}С.

Об'ємна витрата газу в секції, м^3:

$$V'_{сек} = \left(\frac{G_{газ}}{M_{газ}} + \frac{G_{рід}}{M_{рід}}\right) \cdot 22.4 \cdot \frac{t_{сек} + 273}{273} \cdot \frac{0.103}{P} \cdot \frac{1}{3600};$$

$$V'_{\text{сек}} = \left(\frac{5000}{26.08} + \frac{500}{265.2}\right) \cdot 22.4 \cdot \frac{250 + 273}{273} \cdot \frac{0.103}{0.3} \cdot \frac{1}{3600} = 0,8 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Розраховуємо діаметр верхньої секції:

$$D_{в.с.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V'_{сек}}{\Pi \cdot U'}};$$

$$D_{\text{вер.сек}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}8}{0.4 \cdot 3.14}} = 1{,}59 \text{ м.}$$

Приймаємо $D_{\text{вер.сек}} = 2$ м.

2.2.2. Розміри ємності для компаундування. За практичних даних, вважаємо що час модифікування становить 1 годину.

Знаходимо корисний об'єм ємності, м^3:

$$V_{\text{ок.с}} = \frac{\tau \cdot G_c}{\rho_4^{110} \cdot 1000};$$

де ρ_4^{110} - густина бітуму при 110 ^{0}С, г/см^3.

$$\rho_4^{110} = \rho_4^{20} - \alpha(T - 20), \frac{\text{кг}}{\text{см}^3};$$

$$\rho_4^{110} = 0{,}962 - 0{,}000554 \cdot (110 - 20) = 0.9121, \frac{\text{г}}{\text{см}^3};$$

$$V_{\text{ок.с}} = \frac{1.0 \cdot 10417}{0.9121 \cdot 1000} = 11{,}421 \text{ м}^3.$$

Як перемішуючий пристрій вибираємо вертикальний привід з одною проміжною опорою валу (тип IV) за МН 5858-86 потужністю 7 кВт, який кріпиться до ємності (номінальний об'єм 10 м^3, висота циліндричної частини 3,4 м., внутрішнім діаметром 1,6 м. по ОСТ 26-02-1496-76 тип 3).

2.3 Опис реконструкції установки виробництва бітумів. Процес одержання бітуму здійснюється в вище описаній окиснювальній колоні в безперервному процесі окиснення сировини киснем повітря, що подається через низ колони через маточник за допомогою компресора ЦК-1.

Для збільшення контакту між сировиною і киснем з повітря, окиснювальна колона має комплектуватись двома рядами ковпачкових тарілок, які дозволятимуть збільшити її інтенсивність у 2 рази більше ніж у порожній.

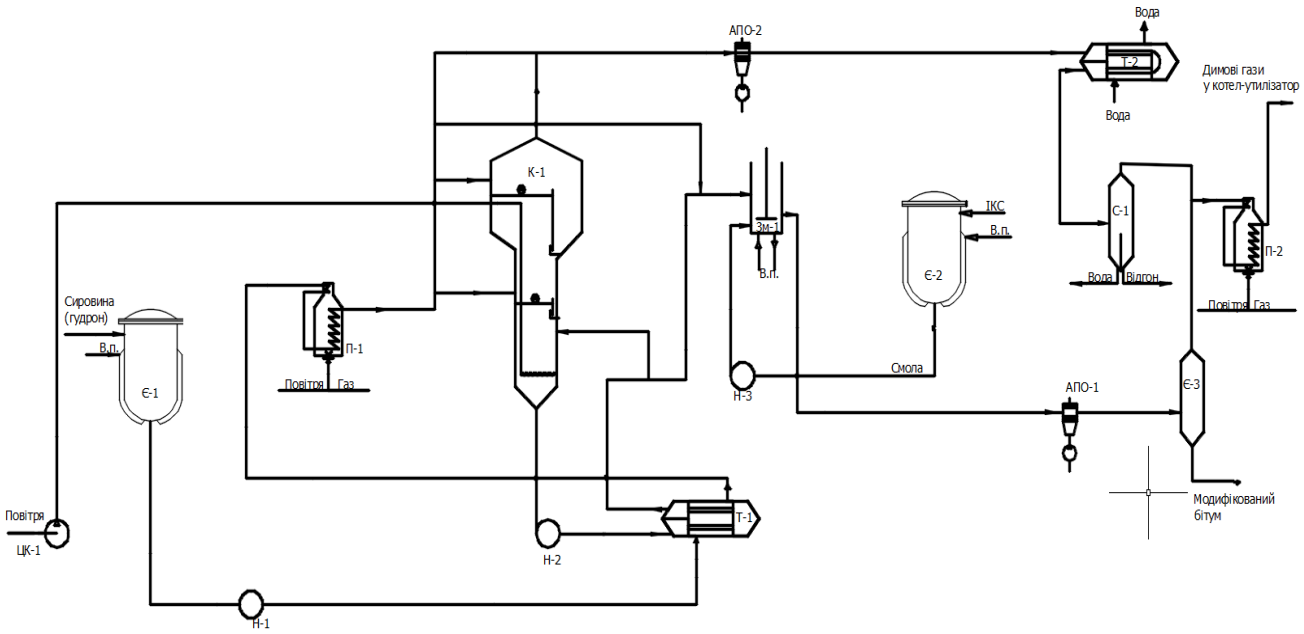
Сировина подається в колону через два потоки: у секцію сепарації колони за допомогою пристроя, що розподіляє, і в секцію окиснення колони. У секції сепарації сировина перемішується з газорідинною сумішшю, що в свою чергу, надходить із секції окиснення колони. Сам процес окиснення сировини ведуть за температури 270 ℃.

Окиснений продукт із секції окиснення колони подають у секцію диспергування.

Бітум знизу окислювальної колони К-1 виводиться насосом Н-2, та виводиться в теплообмінник Т-1, де гарячий бітум буде нагрівати теплоносій, що подається у міжтрубний простір теплообмінника. Частина вже охолодженого продукту подається назад в колону як рециркулят для поліпшення якості бітуму, підтримки заданого температурного режиму (270 ℃) та для зниження закоксовування маточника. Потім бітум поступає на модифікування у змішувач 1, де при температурі 110 ℃ відбувається модифікування його за допомогою ІКС, яка поступає з ємності Є-3, в змішувач, крім того з Є-1 також подається гудрон як пластифікатор. Для охолодження вже модифікованого бітуму до потрібної кінцевої температури (80 - 100 ℃) його подають в апарат повітряного охолодження АПО-1. Балансові залишки вже готової продукції направляються в ємність Є-3. З ємності Є-3 проходить розвантаження модифікованого бітуму до споживача.

Гази окиснення, пари відгону та реакційна вода зверху колони окиснення К-1, з температурою 80 ℃ після охолодження в АПО-2 і Т-2 подають у сепаратор С-1, де буде проходити відділення вже сконденсованої частини відгону та його відкачування знизу С-1 насосом Н-3.

Знизу сепаратора С-1 виводять також і воду, що надходить у каналізацію. Несконденсовані пари відгону, гази окиснення і пари подають у піч догоряння газів окиснення П-2. Крім того, у піч П-2 подається повітря з атмосфери. Димові гази на виході з печі П-2 мають температуру близько 800 - 950 ℃, тепло яких можна буде використати для одержання водяної пари в котлі – утилізаторі



РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1.Загальні відомості. Метою написання економічного розділу дипломної роботи «Одержання та застосування пластифікуючого додатку до дорожніх бітумів з бурого вугілля і нафти» є розрахунок витрат на проведення дослідницької роботи. Основні статті витрат на здійснення досліджень становлять: на основні матеріали; на допоміжні матеріали; енергетичні витрати; амортизаційні відрахування; на заробітну плату.

Важливими складовими кошторису є витрати на сировину, речовини, матеріали та енерговитрати, заробітну плату та єдиний соціальний внесок. Окремо будуть розглянуті амортизаційні відрахування та оплата за оренду приміщення.

3.2. Розрахунок витрат за статтею “сировина, речовина, матеріали”

Розрахунок вартості сировини для дослідження нафт західного регіону України подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахунок вартості сировини.

	Речовина	Кількість, кг	Ціна одиниці сировини, грн/кг	Загальна вартість, грн.
1.	Інден кумаронова смола	1	80	80
2.	Гудрон	5	15	75
3.	Kraton D 1152	1	180	180
	Всього			335

3.3. Розрахунок енергозатрат

Розрахунок енергозатрат проводимо тільки на затрати для технологічних цілей, оскільки затрати на освітлення, опалення та інше враховуються в накладних витратах .

Витрату електроенергії визначаємо згідно з паспортними даними обладнання та часу їх роботи під час досліджень, а також тарифами оплати за електроенергію. Розрахунок коштів на електроенергію подаємо в таблиці 3.2.

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$E_c = \sum W_i \cdot \Phi_{ci} \cdot T_{pi},$$

де W_i – потужність електроспоживачів, кВт;

Φ_{ci} – час роботи електричного обладнання, год;

T_{pi} – тариф, 0,95 грн./кВт·год.

Витрати на електроенергію для технологічних цілей

Табличка 3.2.

№ п/п	Назва обладнання	Потужність обладнання, кВт	Час роботи, год.	Тариф, грн./кВт·год	Сума витрат, грн.
1	Ел.мішалка	0,1	30	4,32	12,96
2	Термостат	1,5	10	4,32	64,8
3	Колбонагрівач	1,5	20	4,32	129,6
4	Аналітична вага	0,05	0,30	4,32	0,06
5	Прилад для визначення температури розм’якшення	1,5	6,0	4,32	38,88
	Всього				246,3

3.4. Розрахунок чисельності працюючих, фонду заробітної плати та відрахувань

У проведенні досліджень приймали участь:

1. Студент-магістр з розміром стипендії – 1600 грн./місяць
2. Керівник науково-дослідної роботи зі ставкою за годину консультації – 50 грн.

Дослідження проводилися впродовж 90 днів (3 місяці), керівник проводить консультації впродовж 30 год.

Загальний фонд заробітної плати студента становить:

$$Ф_1 = 1600 \cdot 3 = 4800 \text{ грн.}$$

Загальний фонд заробітної плати керівника науково-дослідної роботи, з врахуванням консультаційних годин становитиме:

Керівника $ЗП_2 = 30 \cdot 50 = 1500$ грн.

$$Ф_{заг} = Ф_1 + Ф_2 = 4800 + 1500 = 6300 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальний фонд складають 22 % від загального фонду заробітної плати:

$$Ф_{від} = 6300 \cdot 0{,}22 = 1386 \text{ грн.}$$

Загальний фонд заробітної плати з відрахуваннями складають:

$$Ф_{заг+від} = 6300 + 1386 = 7686 \text{ грн.}$$

3.5. Розрахунок вартості приладів, апаратури, амортизаційних відрахувань, вартості малоцінного інвентарю та інструментів

Вартість апаратури взята з інтернет-каталогу відповідних фірм-виробників, вартість хімічного посуду взята з каталогу “Реактиви. Хімічний посуд. Лабораторне обладнання” за 2018 р. науково-виробничої фірми “Сфера Сім” (м. Львів).

Загальна вартість апаратури, що використовується при проведенні досліджень:

$$В = 78600{,}00 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань проводимо в розрахунку, що норма амортизаційних відрахувань рівна 10 %.

$$А_в = В * Н_а = 78600{,}00 \cdot 0{,}10 = 7860 \text{грн. (1 квартал)}$$

де $Н_а$ – норма амортизаційних відрахувань;

В – вартість використаного обладнання; грн.

Вартість апаратури та обладнання, необхідного для проведення досліджень

Таблиця 3.5

% п/п	Вид обладнання	Кількість, шт.	Ціна, грн.	Загальна вартість апаратури, грн.
1.	Електропіч	1	5250,00	5250,00
2.	Термостат	1	8250,00	8250,00
3.	Дуктилометр	1	3000,00	3000,00
4.	Пенетрометр	1	42000,0	42000,00
5.	Прилад КіК	1	19500,0	19500,00
6.	Термометр	2	300,00	600,00
	Всього	-	78150	78300,00

3.6. Визначення витрат на оренду приміщення

Оплата за оренду 1 $м^2$ приміщення складає 120 гривень за місяць. Площа лабораторії, в якій проводились дослідження становить 25 $м^2$. За час проведення досліджень оплата за оренду приміщення складає:

$$О_п = О \cdot S \cdot Т = 120 \cdot 25 \cdot 6 = 18000 грн.$$

3.7.Розрахунок вартості дослідження

Вартість дослідження розраховуємо на підставі розрахованих витрат за попередніми розділами, групуючи їх на прямі та накладні витрати в таблиці 3.4. Одночасно визначаємо структуру витрат.

Таблиця 3.4.

№ п/п	Стаття затрат	Вартість затрат, грн.
Прямі затрати		
1.	Сировина та матеріали	335
2.	Енергетичні затрати	246,3
3.	Фонд заробітної плати з нарахуваннями	7686
4.	Оренда приміщення	18000,00
5.	Амортизаційні відрахування	7860
	Всього:	33926,3
6.	Накладні витрати (20 % прямих)	6785,26
	Всього:	40912,56

3.8. Висновок до розділу 3

З економічної точки зору даний модифікатор покращить основні властивості бітумів, що призведе до їх меншого використання і дозволить рідше проводити ремонтні роботи.

Було визначено, що витрати на проведення наукових досліджень складають: на сировину витрачається 335 грн., на енергоресурси – 246,3 грн. А на час проведення дослідження, заробітна плата керівника і лаборанта складає 7686 грн. Накладні витрати становлять 6785,26 грн. Загальний кошторис витрат для даного дослідження становить 40711,56 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Advantages and disadvantages of plasticizers.. [Електронний ресурс] www.researchgate.net

2. Astakhova, O., Shved, M., Zubal, O., Shyshchak, O., Prysiazhnyi, Y., Bruździak, P., & Bratychak, M. (2019). Obtaining of Coumarone-Indene Resins Based on Light Fraction of Coal Tar. 4. Bitumen-Polymer Blends with Participation of Coumarone-Indene Resins with Epoxy Groups. Chemistry & Chemical Technology, 13, 112-120.

3. Bratychak, M., Astakhova, O., Prysiazhnyi, Y., Shaved, M., Shyshchak, O., Namieśnik, J., & Plonska-Brzezinska, M. (2018). Obtaining of coumarone-indene resins based on light fraction of coal tar 3. Coumarone-indene resins with methacrylic fragments. Chemistry & Chemical Technology, 12, 379-385.

4. Chapter 13. Plasticizers Industry. - DTIC. [Електронний ресурс] apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA305217.pdf

5. F. Pahlavan, S. Hosseinnezhad, A. Samieadel, A. Hung, E. Fini, Fused aromatics

6. H. Ding, H. Wang, X. Qu, A. Varveri, J. Gao, Z. You, Towards an understanding of diffusion mechanism of bio-rejuvenators in aged asphalt binder through molecular dynamics simulation, J. Clean Prod. 299 (2021) 126927.

7. H. Zhu, G. Xu, M. Gong, J. Yang, Recycling long-term-aged asphalts using bio-hardening, Transp. Res. Rec. 1638 (1998) 47–55.

8. How Green is Your Plasticizer?. [Електронний ресурс] www.mdpi.com/2073-4360/10/8/834

9. I.H. Jamal, G. Yaseen, A. Aziz, Influence of Cereclor on the performance of aged asphalt binder, Int. J. Pavement Eng. 21 (11) (2020) 1309–1320.

10. J. Pan, R.A. Tarefder, Investigation of asphalt aging behaviour due to oxidation

11. J. Reedijk, Reference module in chemistry, molecular sciences and chemical engineering, Elsevier, Oxford, 2014.

12. J.C. Petersen, P.M. Harnsberger, Asphalt aging: a dual oxidation mechanism

13. L.G. Cucalon, G. King, F. Kaseer, E. Arambula-Mercado, A.E. Martin, T.F. Turner, C.J. Glover, Compatibility of recycled binder blends with recycling agents: rheological and physicochemical evaluation of rejuvenation and aging processes, Ind. Eng. Chem. Res. 56 (2017) 8375–8384.

14. M.C. Cavalli, M. Zaumanis, E. Mazza, M.N. Partl, L.D. Poulikakos, Effect of ageing on the mechanical and chemical properties of binder from RAP treated with bio-based rejuvenators, Compos. B Eng. 141 (2018) 174–181.

15. Methods for determination of plasticizer migration from .... [Електронний ресурс] jlse.springeropen.com/articles/10.1186/s42825-022-00081-8

16. *Molecular dynamics study on the effect of rheological ....* [Електронний ресурс] від www.sciencedirect.com

17. *Optimizing the bituminous pavement constructions with ....* [Електронний ресурс] link.springer.com/article/10.1007/s43503-024-00035-5

18. *Performance and Mechanism of High-Viscosity ....* [Електронний ресурс] www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14089

19. Plasticizer - an overview. [Електронний ресурс] www.sciencedirect.com

20. Plasticizer. [Електронний ресурс] en.wikipedia.org/wiki/Plasticizer

21. Plasticizers.pdf [Електронний ресурс] http://kinampark.com/PL/files/Plasticizers.pdf

22. Plasticizers: Types, Uses, Classification, Selection & Regulation. [Електронний ресурс] polymer-additives.specialchem.com

23. Pyshyev, S., Miroshnichenko, D., Chipko, T., Donchenko, M., Bogoyavlenska, O., Lysenko, L., ... & Prysiazhnyi, Y. (2024). Use of Lignite Processing Products as Additives to Road Petroleum Bitumen. ChemEngineering, 8(2), 27.

24. R. Zhang, Z. You, H. Wang, M. Ye, Y.K. Yap, C. Si, The impact of bio-oil as rejuvenator for aged asphalt binder, Constr. Build Mater. 196 (2019) 134–143.

25. T. Ma, X. Huang, Y. Zhao, Y. Zhang, Evaluation of diffusion and distribution of the rejuvenator for hot asphalt recycling, Constr. Build. Mater. 98 (2015) 530–536.

26. *The Rejuvenating Potential of Plasticizers on Oxidatively* [Електронний ресурс] pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9656264/

27. Total Connection Blog. [Електронний ресурс] totalconnection.com

28. *Ultimate Guide To What Superplasticizer Does Do To Concrete*. [Електронний ресурс] builderconnect.co.nz

29. *Use of Plastic Waste in Bitumen* [Електронний ресурс] від www.researchgate.net

30. *Use of plasticizers in the production of PMB, as a tool ....* [Електронний ресурс] www.e3s-conferences.org

31. W. Cao, L. Mohammad, P. Barghabany, Use of indirect tension test and

32. What are plasticizers, and how do they function in various materials? -[Електронний ресурс] www.quora.com

33. Z. Fu, K. Shi, F. Ma, R. Song, L. Chen, J. Dai, W. Shen, Rheological properties of dioctyl adipate-modified asphalt binder, Int. J. Pavement Eng. (2021), https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1867855.

34. Бітуми нафтові дорожні в’язкі. Технічні умови: ДСТУ 4044 – 2001. – [Замінює ГОСТ 2224 – 90; Чинний від 27 липня 2001, № 369.]. – К. : Держстандарт України, 2001. – 15 с.

35. Будівельні матеріали. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-135:2007. – [Замінює ТУ У В.2.7-24.1-03450778-198-2002; Чинний від 3 липня 2007, № 133.]. – К. : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2007. – 23 с.

36. Будівельні матеріали. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла та кам'яних матеріалів: ДСТУ Б В.2.7-81-98. – [Чинний від 12 грудня 1998, № 279]. – К. : Держстандарт України, 1998. – 7 с.

37. Гарячі бітумні і бітумно-гумові мастики [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://bibliograph.com.ua/spravochnik106mastika/3

38. ГОСТ 1461-75 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення зольності. Зі Змінами № 1, 2, 3, 2024 – 10 с.

39. ГОСТ 19932-99 Нафтопродукти. Визначення коксованості методом Конрадсона (ICO 6615-93), 2001 – 6 с.

40. ГОСТ 20287-91 Нафтопродукти. Методи визначення температур текучості та застигання, 1991 – 8 с.

41. ГОСТ 3900-85 Нафта і нафтопродукти. Методи визначення щільності. Зі Зміною № 1 (ІПС № IV-91) та Поправкою № 1 (ІПС № I-99), 2024 – 36 с.

42. ГОСТ 5346-78 Змащення пластичні. Методи визначення пенетрації пенетрометром із конусом. Зі Зміною № 1 (ІПС № III-81) – 9 с.

43. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво – 6 с.

44. ДСТУ 4402:2005 Нафтопродукти. Визначення бромного числа нафтових дистилятів та аліфатичних олефінів електрометричним методом (ISO 3839:1996, MOD)

45. ДСТУ 9116:2021 Бітум та бітумні в’яжучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови

46. ДСТУ EN 12593:2018 Бітум та бітумні в’яжучі. Визначення температури крихкості за методом Фрааса (EN 12593:2015, IDT). – 8 с.

47. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови – 8 с.

48. ДСТУ ГОСТ 2477:2021 Нафта та нафтопродукти. Метод визначення вмісту води (ГОСТ 2477-2014, IDT). З Поправкою, 2021 – 8 с.

49. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в`язкості і розрахунок динамічної в`язкості (ГОСТ 33-2000 (ІСО 3104-94), IDT), 2003 – 9 с.

50. ДСТУ ГОСТ 4333:2018 Нафтопродукти. Методи визначення температур спалаху та займання у відкритому тиглі (ГОСТ 4333-2014, IDT; ISO 2592:2000, MOD), 2018 – 9 с.

51. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-129:2013 – 2014. – [Замінює ДСТУ Б В.2.7-129:2006; Чинний від 1 квітня 2014, наказ № 331.]. –Київ: Мінрегіон України, 2014. – 21 с.

52. Нафтовий бітуми. Метод визначення вмісту парафіну: ГОСТ 17789-72 [Чинний від 1974-01-01]. –М.: Стандартінформ, 2008 – 7 с.

53. Пат. 28399 Україна, МПК C08L95/00. Композиція для приготування в’яжучого покрівельних та гідроізоляційних матеріалів / Єрченко А.П., Свірідов В.К., Кульбаченко К.Ю.; заявник і патентовласник СП “Джирджис”. – №96124775. – опубл. 16.10.2000

54. Солодкий С.Й. Когезійна міцність литих емульсійно-мінеральних сумішей на окислених бітумах / С.Й. Солодкий, Ю.В. Сідун, О.Є. Волліс // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг”. – Харків: ХНАДУ. – 2013. – С. 282 – 286.

55. Темні Нафтопродукти. Пришвидшений метод визначення сірки: ГОСТ 1437-75: 2006. – ГОСТ 1437-56: 2006. – [Чинний від 1977-01-01], 2006 – 7 с.

56. Технологія і механізація будівельних процесів Панченко В.О., Костюк М.Г., Качура А.О [та ін.] / Навчально-методичний посібник. – Харків: 2005. – 242 с.

57. Червенюк В. Перспективи використання захисних покриттів на основі водних бітумно-полімерних емульсій для антикорозійного захисту об’єктів нафтогазового комплексу / В. Черватюк, І Кушнір // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2012. – № 9. – С. 683-687.