

**Братчун В.І.,
Базжин Л.І.**

НАУКОВІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ДОРОЖНІХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ І ПРОГНОЗУЮЧЕ- ОПТИМІЗАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Для будівництва автомобільних доріг, розширення масштабів їх реконструкції та ремонту є необхідність пошуку ефективних шляхів розширення сировинної бази для виробництва дорожньо-будівельних матеріалів. Одним напрямком цього є використання техногенної сировини.

Однак реалізація технічних, технологічних і інших аспектів, пов'язаних з конкретним застосуванням техногенної сировини в асфальтобетонах, істотно стримується більш низькою якістю відходів і, як правило, підвищеною витратою органічного в'язучого в порівнянні з кондиційними мінеральними матеріалами, що вимагає ретельного і трудомісткого дослідження щодо використання кожного конкретного виду техногенної сировини у складі бетону.

Значне зростання обсягу інформації, численні альтернативні варіанти, багатокритеріальність вибору при розв'язанні складних задач у проектуванні асфальтового бетону вимагають застосування сучасних технологій проектування, заснованих на математичному моделюванні і оптимізації, експертних системах, обчислювальному експерименті, САПР. Існуючі ж методи технічного проектування не використовують такі технології. Це вимагає розробки нових підходів до проектування асфальтобетонів з використанням комп'ютерно-інформаційних технологій, стрункого і поступового викладення їх наукових основ.

За методологічну основу досліджень прийнято системний аналіз, на основі якого розроблені принципи одержання асфальтобетону з заданим комплексом властивостей. Основний напрямок - ресурсозбереження: матеріали найбільш дешевші

(прийнято відходи виробництв), технології найменш витратні (без додаткової переробки відходів), а методи проектування найбільш ефективні (новий підхід з використанням елементів комп'ютерно-інформаційної технології).

В роботі прийнято відходи виробництв найважливіших галузей господарства України, що мають найбільші запаси у відвалах і щорічний вихід: нерудна, металургійна, теплоенергетика, машинобудування, промисловість будівельних матеріалів, хімічна і коксохімічна (табл. 1).

На основі хімічного складу мінеральних часток (критерій А.С. Колбановської) і їх структури надана класифікація відходів на групи (табл. 2). К активним віднесені відходи, які мають вміст оксидів лужних і луго-земельних металів більш ніж 50%, к інактивним - менш ніж 30% [1].

Структура частинок відходів вивчена комплексом методів. За основу прийнята класифікація М.І. Волкова, І.М. Борща і Л.С. Терлецької: щільні; тонкопористі (фільтруючі вглиб пор масла з яскраво вираженим селективним розподілом бітуму на масла, смоли і асфальтени), пористі (у пори компоненти бітуму проникають більш глибоко, але без яскраво вираженого селективного розподілу); крупнопористі (в пори проникає бітум без фракціонування) [2].

В карбонатних відходах подрібнення люмінесцентним методом виділені частки щільні, тонкопористі і пористі. Найбільшу речовинну масу їх складають частки щільні (62÷83%) і тонкопористі (13÷28%). Частки відходу подрібнення відвального мартенівського шлаку (ВМШ) злегка окатані і мають кавернозно-пористу будову. Жужільна суміш (ЖС) ТЕС до 80÷95% являє собою суміш щільних склованих часток різної крупності; присутні зерна пластинчастої і голчастої форми, окремі зерна крупнопористої структури (до 5%). Відходи гранітів (КГВ і ХГВ), ваграночного шлаку (ВШ) мають щільну структуру.

Структура часток пилоподібних відходів виробництв вивчена за допомогою оптичної і електронної мікроскопії, газової хроматографії. Частки доломітового пилу (ДП) мають різну форму і пористість.

Таблиця 1 - Умовні позначки відходів виробництв для математичного моделювання

Найменування	Умовні позначки
Відходи подрібнення (ВП) вапняку Комсомольського рудоуправління (РУ)	КВВ
ВП вапняку Новотроїцького РУ (терікон 1)	НВВ1
ВП вапняку Новотроїцького РУ (терікон 2)	НВВ2
ВП вапняку Докучаєвського ФДК № 1	ДВВ
ВП граніту Каранського кар'єроуправління (КУ)	КГВ
ВП граніту Хлебодаровського КУ	ХГВ
Золошлакова суміш Старобешівської ТЭС	ЗШС
Шлакова суміш Старобешівської ТЭС	ШС
ВП відвального мартенівського шлаку Макіївського металургійного комбінату	ВМШ
Ваграночний шлак Макіївського трубного заводу	ВШ
Вапняковий мінеральний порошок фабрики № 1 Докучаєвського ФДК	ВМП
Зола-винесення Курахівської ТЭС	ЗВК
Доломітовий пил Микитівського доломітного комбінату	ДП
Цементний пил Амвросіївського цементного Комбінату	ЦП
Шлам ліварного цеху Макіївського трубного заводу (без помелу)	КТЗ1
Полістирольний пил Горлівського Об'єднання "Стирол"	ПСП
Полівінілхлоридний пил Дніпродзержинського Об'єднання "Азот"	ПВХП
Залишки дистиляції фталевого ангідриду Авдіївського коксохімічного заводу (КХЗ)	ОДА
Кам'яновугільний дьоготь Авдіївського КХЗ	Д
Місцевий кварцовий пісок о	КВП

Таблиця 2 - Класифікація техногенної сировини за хімічною активністю до взаємодії з бітумом (за А.С. Колбановською) і структурою мінеральних часток

Умовні позначки	Сумарний вміст оксидів (мас.%)		Поверхня пилоподібних відходів виробництв (дрібніше за 0,071 мм), м ² /кг			
	СаО+MgO	SiO ₂	вид відходу	зовнішня	внутрішня	повна
КВВ	53,70	1,48	ДП	455	405	860
НВВ1	53,96	2,06	ЦП	710	293	1003
НВВ2	53,61	1,97	ЗВК	496	724	1220
ДВВ	52,22	3,05	ЗС	401	659	1060
ВМШ	43,37	18,03	КТЗ1	421	2099	2480
ХГВ	4,33	72,80	ВМШ	478	4142	4620
КГВ	1,43	78,40	ВШ	432	268	700
ЗШС	3,70	48,40	ВМП	445	252	697
ВШ	11,90	38,20	Активні: КВВ, НВВ1, НВВ2, ДВВ, ДП, ЦП, ВМП, ВМШ. Інактивні: ХГВ, КГВ, ЗШС, ЗС, ВШ, ЗВК, КТЗ1, КВП.			
ЗС	3,70	48,40				
ДП	59,60	3,94				
ЦП	51,49	14,86	I група - активні щільні: КВВ, НВВ1, НВВ2, ДВВ, ЦП, ВМП; II група - інактивні щільні: ХГВ, КГВ, ВШ, КВП; III група - активні пористі: ДП, ВМШ; IV група - інактивні пористі: ЗВК, ЗС, КТЗ1.			
ЗВК	5,21	53,90				
КТЗ1	7,27	28,50				

Цементний пил (ЦП) представлений дрібними і злегка окатаними частинками. Видно каплевидні утворення, до складу яких входять луѓи, округлі тонкокристалічні частинки каолініту,

уламки кварцу, гіпсу та ін. На мікрофотографіях шламу ливарного цеху (КТ31) є дрібні окатаної форми прозорі частинки кварцу, більш крупні і пористі агрегати невизначеної форми. Зола-винесення (ЗВК) і зола (ЗС) ТЕС представлені частинками-сферолітами скла, присутні агрегати, що належать аморфізованім і глинистим мінералам, напів- і ооксованому вугіллю. Газохроматографічним методом визначена внутрішня поверхня пор частинок дрібніше 0,071 мкм. У мінерального порошку зі щільного вапняку (ВМП) вона узята для порівняння (табл. 2). Частинки ЦП і ВШ є щільні, ДП, ЗВК і ЗС мають більш значну поверхню, КТ31 і ВМШ дуже високу. Дослідження дозволили розділити прийняті відходи виробництв за структурою частинок і їх активністю до взаємодії з бітумом на чотири групи (I, II, III і IV) (табл. 2).

Хімічний склад відходів показав, що основну речовинну масу відходів складають оксид CaO і діоксид SiO₂, за рахунок яких на поверхні мінеральних часток є переважна кількість іонів Ca⁺² чи Si⁺⁴. В активних функціональних групах OH, COOH, CO внаслідок індуктивного ефекту відбувається зсув електронної щільності від атома Н до атома О, а в карбонільній групі C=O за рахунок ефекту сполучення зміщуються електрони від атома С до атома О з виникненням частково позитивних б⁺ і частково негативних б⁻ зарядів. Катіони Ca²⁺, що мають вільні орбіталі, можуть взаємодіяти з частково негативними зарядами функціональних груп бітуму за рахунок електричного притягання з утворенням іонних зв'язків, але на порядок більш міцних, ніж зв'язки водневі, що сприяє утворенню хемосорбційних комплексів на поверхні мінеральних часток.

Активні функціональні групи входять до складу асфальтенів і смол, що мають найбільшу молекулярну масу. Асфальтени існують у вигляді асоціатів, а тому на поверхні вапняку утворюються найбільш розвинуті шари структурованого бітуму, що обумовлюють значний ріст когезії в цих шарах і адгезії бітуму. Асфальтени і смоли містять також сполуки з ненасиченими зв'язками, вільні радикали, перекиси (гідроперекиси), що блокуються катіонами. У периферійних зонах структурованих шарів бітуму спостерігається підвищена концентрація масел. Подібну взаємодію бітуму варто очікувати з поверхнею щільних часток активних відходів I групи (НВВ1, НВВ2, КВВ, ДВВ, ЦП, табл. 2).

Карбонатні відходи мають 5-28% тонкопористих вапняків, які містять до 64% пор з ефективним радіусом менш ніж 30 нм, здатних фракціонувати масла. При цьому структуровані шари бітуму збіднюються маслами, а в поверхневих порах і на поверхні мінеральних часток концентруються найбільш активні смоли і асфальтени. Утворюються досить щільні, міцні і водостійкі оболонки структурованого бітуму з блокуванням активних функціональних груп катіонами, що повинно підвищити міцність і водостійкість асфальтобетону.

На основі структурно-хімічного аналізу техногенної сировини і встановлення закономірностей структуроутворення висунута і перевірена експериментально гіпотеза про найкраще сполучення в асфальтобетонах різних відходів. Основу мінеральних каркасів асфальтобетону повинні складати зернисті відходи. Найбільш придатними для цього є активні і щільні карбонатні відходи (І група). Вони містять до 6% фракцій мінерального порошку (частинки дрібніше 0,071 мм). Це є передумовою створення якісних асфальтобетонів тільки на цих відходах, а також комбінуванням з менш якісними відходами всіх інших груп (зернистими і пилоподібними).

А тому прийняті наступні принципи одержання асфальтобетонів: асфальтобетони з властивостями марки І; мінеральна частина асфальтобетонів тільки з техногенної сировини; максимальна утилізація відходів виробництв, найменш витратні технології виробництва; найбільш ефективні методи проектування.

Оптимізовані 26 систем асфальтобетону. Одержанні асфальтобетони з властивостями марки І з використанням відходів виробництв. Оптимізацію здійснено за ЕС-моделями у вигляді:

$$Y = V_0 + \sum V_i X_i + \sum V_{ij} X_i X_j + \sum V_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

для властивостей асфальтобетону: задишкової пористості ($P_{пор}$, %), пористості мінерального каркаса ($P_{пор}^{мк}$, %), водонасичення (W , %), набрякання (H , %), коефіцієнта водостійкості (K_v) і водостійкості при тривалому водонасиченні ($K_{вт}$), міцності на стиск $R_{ст(t)}$ при 50, 20, 0 °С, зсувостійкості T_{50} і тріщиностійкості T_{-10} за А.М. Богуславським [3]. Всі моделі адекватні і мають високі значення коефіцієнтів множинної кореляції ($R=0,95\div 0,99$).

Максимальна утилізація в асфальтобетоні з властивостями марки І інактивної золошлакової суміші (ЗШС) з карбонатними відходами подрібнення (состави "КВВ+ЗШС+ІМП+Б") склала 20÷24%. Тому була поставлена задача одержання якісних асфальтобетонів при утилізації ЗШС до 45÷50%. Для цього прийняті полімерні добавки з пилоподібних відходів ПВХ (ПВХП), а із відходів подрібнення узятий гранітний (КГВ).

Ефективні розчинники ПВХ (ацетон, бензол та ін.) дорогі, а тому запропоновано розчиняти їх у кам'яновугільних дьогтях, тому що низькомолекулярні компоненти їх мають полярні і поляризуючі ароматичні сполуки (феноли, крезолі, хінолін, антрацен, піридин та ін.). Вони взаємодіють з диполями С-Сі ПВХ, що сприяє розгортанню глобул полімеру у витягнуті ланцюги. При визначених термодинамічних умовах і концентраціях ПВХ в органічних в'язучих утворюється просторова термофлукуаційна полімерна сітка. Нижче наведено ЕС-модель міцності асфальтобетону на стиск при 50⁰С:

$$R_{ст(50)} = -4.034 + 1.4429 \cdot B + 0,0133 \cdot ЗШС + 0,3137 \cdot ПВХР - 0,0027 \cdot B \cdot ЗШС - 0,0607 \cdot B \cdot ПВХР + 0,0195 \cdot ЗШС \cdot ПВХР - 0,0860 \cdot B^2 - 0,00028 \cdot ЗШС^2 - 0,1917 \cdot ПВХР^2, \quad (2)$$

де ЗШС - кількість (% мас.) золошлакової суміші, B (% мас.) - бітуму, ПВХР - розчин ПВХП у дьогті (% від маси дьогтю).

Асфальтобетони з вмістом ЗШС=50%, КГВ=50%, Б+Д=5-9% і ПВХП=2% мають $R_{ст(50)} > 1,4$ МПа. Виявлено, що утилізувати ЗШС можна до 49-50% в асфальтобетонах із властивостями марки І при ПВХП=1÷1,6% від маси дьогтю при БДПВ=7,2÷7,8% (склад "КГВ+ЗШС+ПВХР+(Б+Д)").

Ряд оптимізованих складів асфальтобетону впроваджені у виробництво. ЕС-моделі, що одержані на основі традиційного планування експерименту, склали перший прогноуюче-оптимізаційний комплекс (ПОКТ), який дозволяє одержувати нові рішення при зміні мети і задач.

Розроблено також метод проектування асфальтобетонів за допомогою комп'ютерних розрахунків по другому прогноуюче-оптимізаційному комплексу ПОК з використанням кожної фракції мінеральних часток, вмісту мінерального порошку, бітуму і його

пенетрації. Для одержання ЕС-моделей розроблених випадковий багаторівневий несиметричний план у вигляді [4, 5]:

$$S_1^{k_1} \cdot S_2^{k_2} \cdot \dots \cdot S_j^{k_j} // N, \quad (3)$$

де k_i - число факторів варіювання на S_j рівнях; N - число точок плану.

Отримано різні системи з 30 ЕС-моделями кожна, наприклад, такого вигляду:

$$\begin{aligned} Y_i = & B_0 + B_1 \cdot a_{20} + B_2 a_{15} + B_3 \cdot a_{10} + B_4 \cdot a_5 + B_5 \cdot a_{2,5} + B_6 \cdot a_{1,25} + B_7 \cdot a_{0,63} + \\ & + B_8 \cdot a_{0,315} + B_9 \cdot a_{0,14} + B_{10} \cdot a_{0,071} + B_{11} \cdot \text{ВМП} + B_{12} \cdot \text{Б} + B_{13} \cdot \text{П} + B_{14} \cdot \text{Б}^2 + \\ & + B_{15} \cdot \text{ВМП}^2 + B_{16} \cdot \text{Б} \cdot \text{ВМП} + B_{17} \cdot \text{П}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Моделі розраховані при примусовому [6] і комп'ютерному введенні взаємодій між факторами, де a_{20} , a_{15} та ін. - часткові залишки окремих фракцій Кальчикського сієніту (ФКС, %), Б і ВМП - вміст (%) бітуму і вапнякового мінерального порошку (фракція дрібніше 0,071 мм), П - пенетрація бітуму (мм). 14 ЕС-моделей служать для розрахунку складу асфальтобетону і описують фізичні властивості: $\text{П}_{\text{пор}}$, $\text{П}_{\text{пор}}^0$, W , K_v , K_{vt} , $\rho_{o(\text{карк})}$, ρ_{oAB} , а також міцність на стиск R_{ct} при різних температурах (50, 20, 0, -10°C), показники зсувостійкості T_{50} і тріщиностійкості T_{-10} , а також модуль пружності K_{50} (за А.М. Богуславським); 10 ЕС-моделей використовуються при проектуванні асфальтобетонних дорожніх покриттів: міцність при вигині R_v при різних температурах (20, 0, -10°C) і швидкості деформування 100 мм/хв, модуль пружності E_p при тих же температурах, динамічний модуль пружності E_d за даними ультразвукових випробувань при температурах 20, 0, -10, -20°C, показник пластичності $K_{пл}$ за Івановим-Телегіним для оцінки зсувостійкості асфальтобетону при +50°C; 6 ЕС-моделей використовуються для додаткових характеристик асфальтобетону: кути внутрішнього тертя ϕ_t у мінеральному каркасу і міцність внутрішнього зчеплення C_t при різних температурах (50, 20, 0°C). Ці ЕС-моделі названі еталонними. Вони мають високий показник інформативної ефективності за В.А. Вознесенським [7]:

$$E^I = (1 + Q_i + 0,5Q_d + 0,2Q_{взд})^r = (1 + 10 + 0,2 \cdot 4)^2 = 11,8^2 \approx 139, \quad (6)$$

де Q_i - кількість нових факторів; Q_d - кількість факторів з дискусійною думкою; $Q_{взд}$ - число парних взаємодій між факторами, раніше не досліджених; Υ - показник степеня, що залежить від етапу дослідження ($\Upsilon=2$ для робочого етапу). Відповідно до залежності (6) 10 - число фракцій мінерального каркаса і penetрація П бітуму. За взаємодії $Q_{взд}$ прийняті B^2 , $ВМП^2$, $Б \cdot ВМП$, $П^2$.

Якість ЕС-моделей і їх прогностична здатність поліпшується при комп'ютерній оптимізації процесу моделювання за рахунок участі окремих фракцій у парних взаємодіях. Нижче надано ЕС-модель міцності асфальтобетону на стиск при 50°C (фактори у натуральному вигляді).

$$R_{ст(50)} = 12,2 - 0,052a_{15} - 0,11a_{10} - 0,139a_5 - 0,148a_{2,5} - 0,158a_{1,25} - 0,125a_{0,63} - 0,054 \cdot a_{0,315} - 0,111 \cdot a_{0,14} - 0,119 \cdot a_{0,071} - 0,087 \cdot ВМП + 0,179 \cdot Б + 0,013 \cdot П + 0,0016 \cdot a_5 \cdot a_{2,5} + 0,0054 \cdot a_{1,25} \cdot Б - 0,0099 \cdot Б \cdot П - 0,0094a_{0,315} \cdot Б, \quad (5)$$

де $R=0,991$ (коефіцієнт множинної кореляції); $F_p=0,75 < F_T=5,9$ (F_p і F_T - розрахунковий і табличний критерії Фішера); $F_{зміст}=25 > 2$ (змістовність ЕС-моделі).

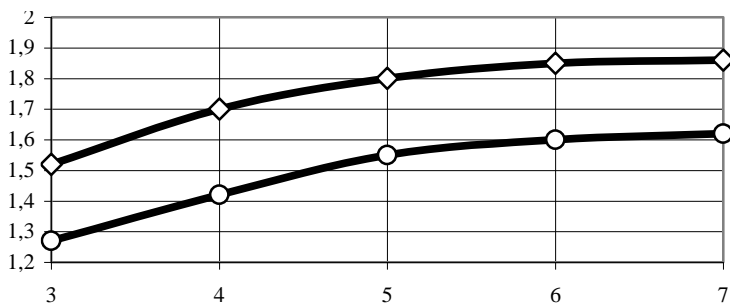
Отримані ЕС-моделі склали основу нового підходу в проектуванні асфальтового бетону, який включає комп'ютерно-інформаційну технологію- другий прогноуюче-оптимізаційний комплекс (ПОК).

З метою використання значної інформації, закладеної в ЕС-моделях, для прогнозування властивостей асфальтобетону на фракціях з інших за природою і властивостями мінеральних матеріалах, використана еквідистантність кривих зміни властивостей бетону (рис. 1) [5].

В одній точці факторного простору експериментально визначаються властивості асфальтобетону на нових матеріалах $Y_{i(нов)}$. За еталонними ЕС-моделями розраховуються властивості асфальтобетону $Y_{i(етал)розр}$ прийнятого зернового складу при встановленому вмісту вапнякового мінерального порошку, бітуму і його penetрації. Розраховуються керуючі параметри $\Delta Y_i = Y_{i(нов)} - Y_{i(етал)розр}$. Далі за еталонними ЕС-моделями розраховуються властивості бетону при зміні вмісту бітуму від 3 до 8% (із кроками

$\Delta X_i=1-1,5\%$). За розрахунковими даними будуються графіки залежності властивостей асфальтобетону від вмісту бітуму. Використовуючи дані про еквідистантну закономірність кривих зміни властивостей асфальтобетону на різних за природою мінеральних каркасах і значення ΔY_i , еквідистантно будуються лінії графіків, що будуть характеризувати властивості асфальтобетону на мінеральних каркасах з нових матеріалів.

$R_{ст(50)}$, МПа



Бітум, % мас.

Рисунок 6 - Еквідистантні криві зміни межі міцності асфальтового бетону при стиску при 50°C $R_{ст(50)}$, отримані експериментально за наступних даних: мінеральний каркас із фракцій щільного вапняку

Комсомольського РУ (◇-◇) і граніту Каранського КУ

(○-○) з однаковими частковими залишками (%) $a_{20}=0$; $a_{15}=5$; $a_{10}=8$; $a_5=30$; $a_{2,5}=12$; $a_{1,25}=12$; $a_{20}=9$; $a_{0,63}=8$; $a_{0,315}=6$; $a_{0,14}=5$; $a_{0,071}=3$.

Мінеральний порошок вапняковий (ВМП= $a_{<0,071}=10\%$), бітум (Б) із глибиною проникнення голки $P_{25}=4,2$ мм.

Нижче надано дані для асфальтобетону складу “ХГВ+ВМП+Б” (табл. 3). Значення керуючого параметра $\Delta R_{ст(0)}$ отримано в точці $X=B=7,1\%$.

Якщо замість експериментальних значень ΔY_i їх генерувати, то розпочинається етап комп’ютерного обчислювального експерименту (КОЕ). Його треба закінчувати вибором факторів спрямованого регулювання структури, які забезпечують досягнення потрібного комплексу властивостей асфальтобетону.

Таблиця 3

$$\Delta Y_i = \Delta R_{ст(0)} = Y_{i(нов)} - Y_{i(етал) розр} = 0,94 \text{ МПа}$$

X=B, %	3	4	5	6	7	7,1
Розрахункові значення властивостей асфальтобетону за еталонною ЕС-моделлю						
$Y_{i(етал) розр}$	7,55	9,30	10,50	11,20	11,28	11,25
Еквідистантні значення властивостей асфальтобетону на нових матеріалах						
$Y_{i(нов..) еквід}$	6,61	8,36	9,56	10,26	10,34	10,31

Розроблено також метод проектування асфальтобетону з використанням кореляційних моделей його властивостей. За фактори прийняті: межа міцності бетону на стиск при 20⁰C ($R_{ст(20)}=R20$), пористість мінерального каркаса ($P_{пор}^{м} = pos$), залишкова пористість бетону ($P_{пор} = por$), середня щільність мінерального каркаса ($\rho_{о(карк)} = Plos$), середня щільність бетону ($\rho_{о(аб)} = PIAВ$), динамічний модуль пружності бетону при 20⁰C ($E_{д(20)} = Ed20$), отриманий на ультразвуковій установці, а також змішаних кореляційно-регресійних моделей.

Висновки

На основі закономірностей структуроутворення і математичного моделювання розроблені методи регулювання структури і властивостей асфальтових бетонів:

1) відходами подрібнення щільних карбонатних гірських порід як крупного так і дрібного заповнювача, у якого вміст до 6% частинок дрібніше 0,071 мм при незначній кількості глинистих частинок (до 0,5%);

2) комплексним бітумодьогтеполімерним в'язучим (БДПВ), отриманого розчиненням відходу виробництва ПВХ у дьогті з одержанням дьогтеполімерного в'язучого (ДПВ) і розчиненням останнього в бітумі.

3). Розроблено метод проектування 26 систем асфальтобетонів, що містять техногенну сировину. Отримані ЕС-моделі властивостей бетону склали основу першого прогноуюче - оптимізаційного комплексу (ПОКТ).

4). Розроблено новий підхід в проектуванні асфальтового бетону з використанням комп'ютерно-інформаційної технології, яка включає:

- метод проектування асфальтобетону за поліномами другого ступеня з 13 факторами і 4-ма примусовими і комп'ютерними взаємодіями. Моделі описують 30 фізико-механічних властивостей асфальтобетону і враховують роль кожної з 10 фракцій мінеральної частини, вмісту бітуму (3-8%) і його penetрації (1,5-23 мм). Інформаційна ефективність розроблених ЕС-моделей у 139 разів більш ніж моделей, отриманих без урахування ролі окремих фракцій мінеральної частини. Ці ЕС-моделі склали основу 2-го прогноуюче-оптимізаційного комплексу (ПОК);

- ефективний метод проектування асфальтобетонів з використанням еквідистантної закономірності зміни їх властивостей і еталонних ЕС-моделей (МЕК). Матеріали мінерального каркаса повинні бути щільними і можуть мати різний хіміко-мінералогічний склад. МЕК входить у склад ПОК.

Література

1. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М.: Транспорт, 1973. - 264 с.

2. Волков М.И., Борщ И.М. Исследование минеральных порошков для асфальтовых смесей: Сб. научн. тр. ХАДИ. - Харьков: Изд. ХГУ. - 1959. - Вып. 18. - С. 73-83.

3. Богуславський А.М., Богуславський Л.А. Основы реологии асфальтобетона. - М.: Высшая школа, 1972. - 200 с.

3. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. - М.: Химия, 1980. - 280 с.

4. Базжин Л.И. Эквидистантная закономерность изменения свойств асфальтового бетона // Известия вузов. Строительство. - 2000. - № 11. - С. 78-82.

5. Братчун В.И., Золотарев В.А. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности. - Макеевка: ДГАСА, 1998. - 226 с.

6. Вознесенський В.А., Выровой В.Н., Керш В.Е. и др. Современные методы оптимизации композиционных материалов. - К.: Будівельник, 1983. - 144 с.