

УДК 625.7

**М.І. Мовчан**Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра автомобільних шляхів

## **ЗАСТОСУВАННЯ ШАХТНИХ ГОРІЛИХ ПОРІД ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ**

© Мовчан М.І., 2002

**Викладені результати досліджень шахтних горілих порід Львівсько-Волинського вугільного басейну з метою застосування їх у дорожньому будівництві. Наведено хіміко-мінералогічний склад, фізико-механічні характеристики й деформативні властивості горілих порід. За матеріалами лабораторних досліджень і польових випробувань дослідних ділянок розроблено рекомендації щодо використання шахтних горілих порід при влаштуванні дорожніх одягів.**

**Вступ.** Суттєво зменшити витрати на дорожнє будівництво можливо при використанні місцевих матеріалів, відходів і побічних продуктів промисловості. Шахтні відвальні породи – це місцева сировина, відходи вугільної промисловості. Основним видом відходів є порожня порода, яка супроводжує процес видобування вугілля, або вилучається при його збагаченні. Ця порода часто вміщує підвищену кількість вугілля, яке самозаймається і випалює її. Самовипалювання відбувається за обмеженого доступу повітря, він тривалий, некерований і закінчується спонтанно при вигоранні вугільних домішок. Термін вигорання становить приблизно 35 років і обумовлюється властивостями вугілля, вмістом сульфідів, вугленасиченням і способом складування порожніх порід.

У районах, де видобувають вугілля, постає питання утилізації відходів вуглезбагачення. Гостро стоїть воно й для Львівсько-Волинського вугільного басейну. Особливість даного басейну – це необхідність розробки великої кількості порожніх порід і складування їх у відвали та терикони. Крім того, Львівська область, в якій розташований цей басейн, належить до регіонів, де на людину припадає мала кількість орної землі.

Основними споживачами шахтних відвальних порід є дорожнє, цивільне, промислове та гідротехнічне будівництво. Ці відходи використовують в зарубіжному й вітчизняному будівництві для виготовлення цегли, керамічних виробів, аглопориту, керамзиту, легких пористих блоків та конструкцій, бетонів та розчинів, у транспортному та гідротехнічному будівництві. У дорожньому будівництві шахтні відвальні породи застосовують для спорудження насипів, зокрема й високих, для влаштування укріплених і морозозахисних шарів, для будівництва покриттів на тимчасових проїздах і основ під тротуари, для виготовлення асфальтобетонних і бітумомінеральних сумішей, для укріплення ґрунтів [1-5].

Ширше шахтні породи використовують при спорудженні земляного полотна, особливо високих насипів. При цьому досягався найбільший економічний ефект. Так, при будівництві доріг у Донецькій області, застосування шахтних відвальних порід для відсіпки насипання дало економію коштів обсягом 8...10% від загальної вартості об'єкта. Використання шахтних горілих порід при будівництві автомобільної дороги Чита – Аеропорт дозволило проводити земляні роботи при від'ємних температурах повітря, оскільки горіла порода не змерзається, що дало відповідний економічний ефект. Для

спорудження земполотна можна використовувати як горілу, так і негорілу породу. Розроблено “Рекомендації по спорудженню земляного полотна автомобільних доріг із шахтних відвальних порід” [5-11].

Враховуючи рельєф, ґрунтово-гідрологічні та інші умови територій, суміжних із Львівсько-Волинським вугільним басейном, перспективним і економічно доцільним є використання шахтних порід для спорудження земляного полотна, для будівництва конструктивних шарів дорожнього одягу, для вирівнювання територій і будівельних майданчиків тощо. Особливого значення набуває проблема розширення сфери використання шахтних відвальних порід в умовах дефіциту місцевих природних кам'яних матеріалів. Досвід застосування цих порід дозволяє прогнозувати, що при дотриманні належної підготовки та укладання добре випалені шахтні горілі породи можна успішно використовувати і в конструктивних шарах дорожнього одягу.

Для обґрунтованого і ефективного застосування шахтних горілих порід Львівсько-Волинського вугільного басейну, необхідно докладно вивчити їх властивості.

**Методика досліджень.** Дослідження проводили для горілих порід шахт № 5 і № 7 (В. Мости). Хімічний і мінеральний склади визначали за стандартними методиками. Для оцінки фізико-механічних характеристик шахтних горілих порід використовували такі показники: об'ємну масу, пористість, водопоглинання, пустотність, межу міцності при стиску тощо.

Модулі пружності різних складів із шахтних горілих порід визначали відповідно до вимог ВСН 46-83 на спеціальному стенді при статичному навантаженні, яке передавали на шари матеріалів через жорсткий штамп діаметром 31 см. Спочатку визначали модуль пружності на поверхні підстильного піщаного шару. Влаштували верхній шар із шахтних горілих порід і визначали загальний модуль пружності двошарової системи. За одержаними результатами розраховували модуль пружності шару, який випробовували.

Для перевірки можливості застосування шахтних горілих порід у конструктивних шарах дорожнього одягу були побудовані дослідні ділянки внутрігосподарських автомобільних доріг III-с категорії. Покриття серпоподібного профілю з рядової горілої породи завтовшки 26 см влаштоване на піщаному шарі завтовшки 20 см. Обстеження дослідних ділянок проводили через 2...4 роки експлуатації автомобільних доріг.

Польові випробування дорожніх конструкцій проводили при статичному навантаженні відповідно до вимог ВСН 52-89 в нерозрахунковий період року. Навантаження на заднє колесо автомобіля МАЗ-5549 становило 49 кН. Для вимірювання прогинів використовували довгобазовий прогиномір типу МАДИ-ЦНИЛ. Індикатор годинникового типу забезпечував вимірювання прогинів з точністю  $\pm 0,02$  мм.

Випробування дорожнього одягу проводили через кожні 50 м. Прогини замірювали на смузі накату. При розрахунковому рівні надійності дорожнього одягу 0,65 на кожній ділянці проводили 12 вимірювань. Випробування проводили в суху погоду при температурі повітря 18...20°C.

Одночасно з вимірюваннями прогинів на дослідних ділянках влаштували шурфи, визначали товщину конструктивних шарів дорожнього одягу і відбирали проби горілої породи, піску та підстильного ґрунту для вивчення їх фізико-механічних характеристик.

Фактичні значення модулів пружності дорожніх одягів на час випробувань приводили до розрахункового періоду року з урахуванням типу і природної вологості ґрунту під час випробувань.

При проведенні польових випробувань вивчали умови зволоження ґрунтів земляного полотна та характер руйнувань покриття на дослідних ділянках.

**Результати лабораторних досліджень.** Шахтні відвальні породи мають багато різновидів, які відрізняються своїми властивостями. За літологічним складом ці породи являють собою суміш осадових порід, які супроводжують вугільні пласти, – аргілітів, алевролітів, піщаників, глинистих сланців, вапняків та вугілля різного мінералогічного складу. Після випалення в териконах суттєво міняються фізико-хімічні властивості породи.

За ступенем природної термічної обробки відвальні породи можна розділити на:

- невипалені породи (практично відсутні куски горілої породи, низька механічна міцність. Це, переважно, свіжі відходи вуглезбагачення);
- слабо випалені породи (характеризуються значним вмістом кусків горілої породи);
- горілі породи (характеризуються відсутністю невипалених частинок, куски породи мають забарвлення червоної гама кольорів).

Залежно від мінерального складу порід розкриття горілі породи можна розділити на дві групи:

- глинисті, які бувають залізисті (червоно-бурого кольору з великим вмістом заліза) і малозалізисті (жовтувато-рожевого й білого кольорів);
- запісочені, які мають кам'янисту, трохи піщану структуру і рожево-цегляне забарвлення.

Можлива також класифікація шахтних горілих порід за ступенем випалювання. Нормальним випалюванням вважають таке, при якому водопоглинання горілої породи знаходиться в межах 5...10%, а підвищеним – при водопоглинанні менше 5%.

Хімічний склад горілих порід В.Мостовських шахт № 5 і № 7 наведено у табл. 1, мінеральний склад – у табл. 2, а фізико-механічні показники – в табл. 3.

Орієнтовно якість породи можна оцінити також візуально. Щільна структура та гладка каменеподібна поверхня злому свідчать про високу якість горілої породи. Ніздрювата та шершава, або жирна на дотик поверхня злому вказує на низьку міцність матеріалу. Добре випалені породи мають червону гаму кольорів, невипалені – сіру.

Ступінь випалювання впливає не тільки на міцність матеріалу й розміри грудок породи, але й на зерновий склад відвальної породи. Крім цього, зерновий склад горілої породи залежить від способу розроблення терикона. З огляду на це, слід зазначити, що характеристика природного зернового складу горілих порід є дуже відносна.

Зерновий склад шахтних відвальних порід залежить переважно від міцності та хіміко-мінералогічного складу порожньої породи. Якщо порожня порода тверда й міцна, то горілий матеріал буде грубий і масивний. Подрібнення шахтні породи зазнають при скочуванні по схилу терикона, від тиску покриваючих шарів та під час випалювання. Найміцніші горілі породи одержують внаслідок випалювання дрібнозернистих піщаників, піщаних сланців (з дуже малим вмістом вугілля). За даними Книгіної Г.І. горілі породи, що складаються з глинистих і вуглистих сланців із домішками вугілля, карбонатних і залізистих мінералів, зазнають природного подрібнення. Ці породи рекомендовані для дорожнього будівництва. Зерновий склад шахтних горілих порід наведено в табл. 4 і 5.

Таблиця 1

**Хімічний склад шахтних горілих порід**

Номер шахти	Вміст окислів, % до маси							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	інші
5	64,93	22,03	7,17	1,20	1,06	1,91	0,8	0,9
7	63,77	21,50	7,22	1,41	1,16	2,04	1,1	1,8

Таблиця 2

**Мінеральний склад шахтних горілих порід**

Складові породи	Вміст, % до маси
Глинисті сланці	54
Піщані сланці	27
Піщаники	12
Вуглисті сланці	5
Карбонатні породи	2

Таблиця 3

**Фізико–механічні характеристики шахтних горілих порід**

Показник породи	Значення показника
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2370...2580
Об'ємна маса грудок, кг/м <sup>3</sup>	1690...2460
Насипна маса, кг/м <sup>3</sup>	1360...1510
Водопоглинання, % до маси	1,95...6,35
Пористість, % до об'єму	3,5...30,2
Стирання в поличковому барабані, % до маси	13,7 і більше
Межа міцності на стиснення, МПа	6,7...71,3
Марка щебеню за показником дробимості в циліндрі (у сухому стані)	300...600

Однорідність матеріалу можна поліпшити селективною вибіркою при розробленні терикона, подрібненням породи з подальшим розділенням на фракції й приготуванням суміші оптимального зернового складу. Коли зерновий склад горілої породи не відповідає оптимальному, до суміші потрібно ввести додаткові фракції, одержані після розсіювання породи. У горілій породі оптимального зернового складу вміст фракцій повинен становити 40...70 мм – 44...55%, 20...40 мм – 18...25%, 5...20 мм – 10...15%, 0,1...5 мм – 12...18%.

Число пластичності дрібнозему не повинно перевищувати 5. Інакше неминуче грудкування суміші після зволоження і, як наслідок, незадовільне змішування з в'язучим під час зміцнення породи. Дрібнозем добре випалених порід, як правило, не проявляє гідралічних в'язучих властивостей, але розчинна частина в сумішах, що зміцнені цементом, після тверднення набуває підвищеної міцності, водо- і морозостійкості. Вміст дрібнозему в суміші можна допускати до верхньої граничної межі.

Таблиця 4

**Зерновий склад шахтної горілої породи (Шахта № 5)**

Показник	Розміри отворів сит, мм										
	70	40	20	10	5	2,5	1,25	0,5	0,315	0,14	<0,14
Частковий залишок на ситі, % до маси	4,5	14,0	17,0	16,3	15,0	7,4	5,4	6,9	3,3	4,5	5,9
Повний залишок на ситі, % до маси	4,5	18,5	35,5	51,8	66,9	74,2	79,6	86,5	89,8	94,1	100,0

Таблиця 5

**Зерновий склад шахтної горілої породи (Шахта № 7)**

Показник	Розміри отворів сит, мм										
	70	40	20	10	5	2,5	1,25	0,5	0,315	0,14	<0,14
Частковий залишок на ситі, % до маси	6,9	8,4	21,0	20,7	14,2	5,1	6,6	5,3	2,2	2,9	6,7
Повний залишок на ситі, % до маси	6,9	15,3	36,3	57,0	71,2	76,3	82,9	88,2	90,4	93,3	100,0

Модуль пружності матеріалу є одна з основних характеристик, що визначає його поведінку в конструкціях земляного полотна та дорожнього одягу. Проведені дослідження виявили вплив зернового складу породи на її деформативні властивості.

Встановлено, що механічні характеристики слабко випалених і невипалених порід залежать переважно від щільності та вологості суміші й міцності породи. Найвищі значення модулів пружності досягнуті при ущільненні суміші з вологістю 3...6%. Цій вологості відповідає максимальне осідання, значення якого мало змінювалося в діапазоні вологості 0...8%.

Значною мірою на міцність і деформативні властивості шахтних порід впливає вміст дрібнозему, кількість якого може змінюватися в конструктивному шарі під час експлуатації дороги. При збільшенні вологості міцність неводостійких складових суміші знижується, зерна дробляться. Збільшення вмісту дрібних фракцій призводить до підвищення загального показника зчеплення системи. Кількість жорстких контактів при цьому зменшується, що зумовлює до зменшення кута внутрішнього тертя суміші.

Поліпшити якість шахтної горілої породи і стабілізувати характеристики конструктивного шару можна зміцненням суміші цементом і вапном. Орієнтовна витрата цементу (від маси сухої породи) при зміцненні горілої породи становить: для грубозернистих сумішей – 5...7%, для середньозернистих – 6...8%, для дрібнозернистих – 7...11%. Якщо для зміцнення горілої породи використовуються цементі низьких марок, то в суміш рекомендується вводити вапно, яке сприяє активізації процесу гідролізу та гідратації цементу. Витрата вапна при цьому становить 5...8% від маси сухого матеріалу.

Суміш горілої породи з цементом або цементом і вапном високої якості можна одержати при приготуванні їх у змішувальних установках. Проте і при змішуванні на дорозі можна приготувати суміші задовільної якості.

Розрахункові значення модулів пружності шахтних горілих порід, укріплених цементом або без нього, наведено в табл. 6.

**Результати польових випробувань.** Обстеження дослідних ділянок доріг на меліоративних системах Львівської області показали, що на ділянках із забезпеченим поверхневим водовідводом при розміщенні земляного полотна в насипах з супіщаних ґрунтів проїжджа частина дороги знаходиться в якісному стані. Дорожній одяг однорідний за міцністю по довжині дослідної ділянки. Середні значення загального модуля пружності, приведенного до розрахункового періоду року, становить 102...124 МПа при мінімальному значенню потрібного модуля пружності 65 МПа. На ділянках з незабезпеченим поверхневим водовідводом і суглинистих ґрунтах земляного полотна на проїжджій частині дороги утворилися просідання і колії. Дорожній одяг тут характеризується неоднорідною міцністю при достатньому середньому значенню загального модуля пружності. Результати візуальної оцінки стану дорожніх одягів узгоджуються з даними, які одержані при вимірюванні деформацій під колесом розрахункового автомобіля.

Таблиця 6

#### Розрахункові значення модулів пружності

№ з/п	Матеріал	Модуль пружності, МПа
1.	Рядова горіла порода із заклинюванням висівками з неї	135
2.	Горіла порода оптимального зернового складу	150
3.	Горіла порода оптимального зернового складу із заклинюванням висівками з неї	155
4.	Рядова горіла порода, зміцнена 7% портландцементу марки 400	200
5.	Горіла порода оптимального зернового складу, зміцнена 7% портландцементу марки 400	220

Обстеження дорожніх одягів, які були побудовані з використанням горілих порід, показали, що після трьох років експлуатації вміст дрібнозему в покритті зріс на 5...7% порівняно з вмістом його в породі при влаштуванні конструктивного шару. Це пов'язано з додатковим подрібненням матеріалу під час укочення, а також із процесами вивітрювання матеріалу в активному верхньому шарі під час експлуатації дороги.

**Рекомендації щодо застосування шахтних горілих порід.** Шахтні горілі породи Львівсько-Волинського вугільного басейну неоднорідні за структурою і фізико-механічними властивостями. У зв'язку з цим, кам'яний матеріал перед використанням рекомендується переробляти на подрібнювально-сортувальних установках з подальшим приготуванням сумішей оптимального зернового складу. Під час розроблення терикона слід використовувати машини та організацію робіт, які сприяють подрібненню та перемішуванню породи.

Проектування сумішей рекомендується проводити в такій послідовності. Спочатку у відвалі вибирають місце для відбирання матеріалу. Горіла порода має бути рівномірно та добре випалена, зерновий склад близький до оптимального. Взявши проби, визначають зерновий склад горілої породи, вміст дрібнозему, пилюватих і глинистих частинок. Якщо зерновий склад горілої породи не відповідає оптимальному, в суміш необхідно ввести додаткові фракції, одержані після розсіювання породи.

Стабільність каркасної структури досягається інтенсивним ущільненням шахтної породи при вологості, яка забезпечує межу текучості дрібнозему. Для безкаркасної структури вологість породи має відповідати оптимальній при стандартному ущільненні. При ущільненні умовно каркасних структур значення потрібної вологості суміші може змінюватися від вологості на межі текучості до оптимальної вологості, яка визначена при стандартному ущільненні, і буде залежати від вмісту дрібнозему.

Для ущільнення горілої породи доцільно застосовувати вібраційні або кулачкові котки з подальшим доущільненням котками на пневмошинах. Використання котків із гладкими вальцями не забезпечує потрібного ступеню ущільнення. Малоефективні також котки на пневмошинах з тиском до 0,35 МПа.

При проектуванні конструктивних шарів дорожнього одягу необхідно враховувати вплив ґрунтово-гідрологічних і кліматичних факторів, водно-теплового режиму, а також умови експлуатації дороги.

Щоб поліпшити експлуатаційні властивості автомобільних доріг, підвищити водонепроникність покриття та знизити пилоутворення, рекомендується влаштовувати поверхневу обробку покриття.

Дорожні одяги з конструктивними шарами із шахтних горілих порід розраховують відповідно до “Інструкції по проектуванню дорожніх одягів нежорсткого типу” (ВСН 46–83). При конструюванні дорожнього одягу рекомендується керуватися типами дорожніх конструкцій, які показані на рис. 1–3.

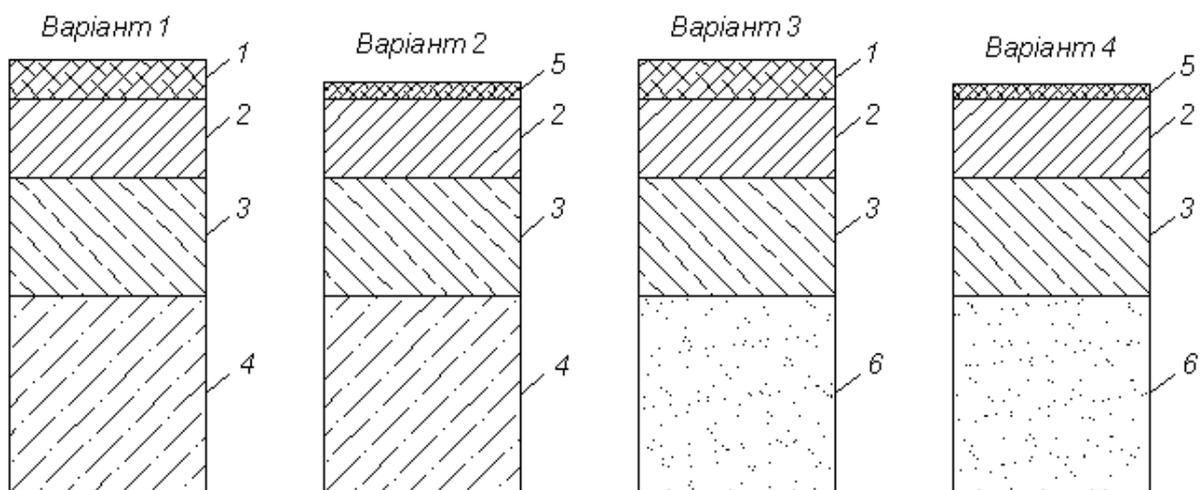


Рис. 1. Варіанти дорожніх одягів із полегшеним типом покриття на автомобільних дорогах III–IV категорій:

1 – асфальтобетон II–III марок (5–7 см); 2 – фракціонований щебінь, оброблений бітумом в установці або методом просочення (8–10 см); 3 – горіла порода або суміш горілої породи з піщано-гравійною сумішшю, зміцнена цементом (12–18 см); 4 – рядова горіла порода (18–25 см); 5 – подвійна поверхнева обробка; 6 – пісок або піщано-гравійна суміш (20–30 см)

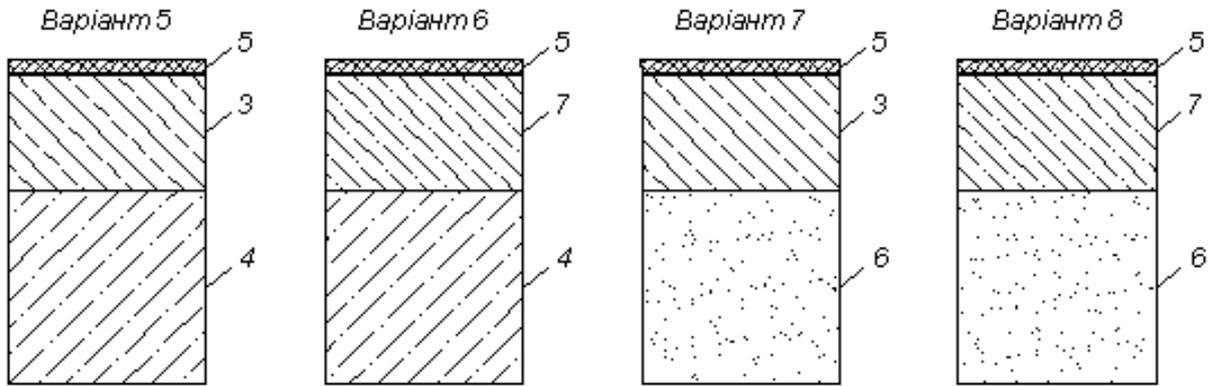


Рис. 2. Варіанти дорожніх одягів із перехідним типом покриття на автомобільних дорогах IV–V категорій:

3 – горіла порода або суміш горілої породи з піщано–гравійною сумішшю, зміцнена цементом (12–18 см); 4 – рядова горіла порода (18–25 см); 5 – подвійна поверхнева обробка; 6 – пісок або піщано–гравійна суміш (20–30 см); 7 – горіла порода оптимального зернового складу, зміцнена цементом (20–30 см)

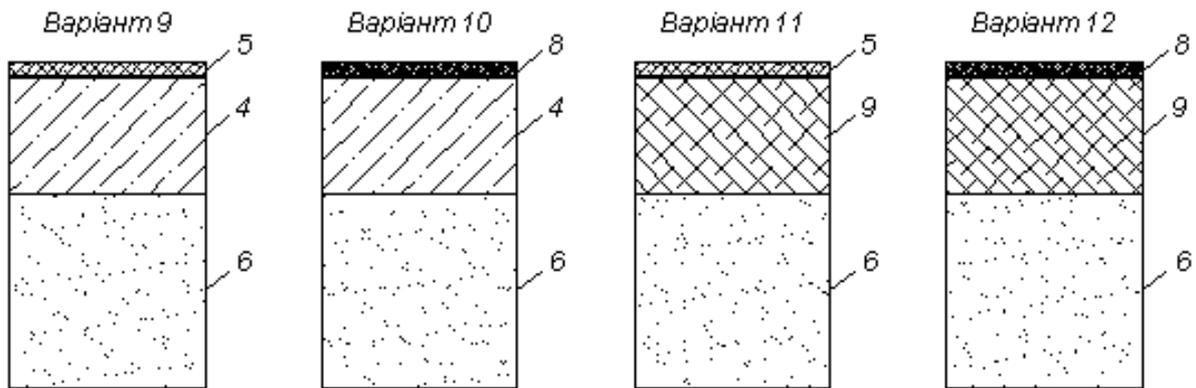


Рис. 3. Варіанти дорожніх одягів на автомобільних дорогах V і III–с категорій:

4 – рядова горіла порода (18–20 см); 5 – подвійна поверхнева обробка; 6 – пісок або піщано–гравійна суміш (20–30 см); 8 – висівки з горілої породи; 9 – горіла порода оптимального зернового складу (18–20 см)

**Висновки.** Результати лабораторних досліджень і обстеження дослідних ділянок підтвердили доцільність використання шахтних горілих порід Львівсько-Волинського вугільного басейну для спорудження насипів, зокрема й високих, для будівництва основ дорожніх одягів на автомобільних дорогах III–IV категорій та покриттів на автомобільних дорогах IV–V категорій і на внутрішньогосподарських дорогах III–с категорії.

Але ці породи неоднорідні за структурою та своїми властивостями. В одному й тому ж териконі поряд із щільним, добре випаленим матеріалом, залягають маломіцні, слабо випалені породи. Зерновий склад породи також значно змінюється в межах терикона. У зв'язку з цим, кам'яний матеріал рекомендується попередньо переробляти, а в конструкціях дорожнього одягу застосовувати підібрані суміші оптимального зернового складу. Поліпшити якість шахтної горілої породи і стабілізувати характеристики конструктивного шару можна зміцненням суміші цементом і вапном.

Стабільність характеристик шахтної породи в конструктивних шарах земляного полотна і дорожнього одягу буде залежати також і від дорожньо-кліматичних умов експлуатації. Слабко випалені та невивалені породи можна застосовувати в конструкціях земляного полотна тільки за умови належної ізоляції їх від води. Горілі добре випалені породи можуть задовільно працювати в конструктивних шарах дорожнього одягу за умови, коли будуть враховані розмір навантаження й особливості зволоження земляного полотна під час експлуатації дороги

При проектуванні й спорудженні земляного полотна необхідно ретельно дотримуватися вимог щодо забезпечення поверхневого водовідведення та обмеження капілярного підняття води.

Під час експлуатації автомобільної дороги водовідвідні споруди слід утримувати в робочому стані і не допускати перезволоження земляного полотна й дорожнього одягу.

1. Глушнев С.В., Юровский А.З. *Комплексная переработка и использование отходов углеобогатительных фабрик и ТЭС*. М.: ЦНИЭИуголь. 1975. 2. Ковалев Н.А. *Горелые породы шахтных терриконов эффективный дорожно-строительный материал*. Ростов на Дону. 1976. 3. Книгина Г.И. *Строительные материалы из горных пород*. М.: Изд-во литературы по строительству. 1966. 4. Фоменко Т.Г., Кондратьев А.Ф. *Отходы флотации и их свойства*. М.: Недра. 1977. 5. Якунин В.П., Агроскин А.А. *Использование отходов обогащения углей*. М.: Недра. 1978. 6. Абалмасов Ю.Д. *Земполотно из горелых пород // Автомобильные дороги*. 1987. №7. 7. Боднар Ю.В. *Комплексное использование горелых пород // Строительные материалы и конструкции*. 1989. № 2. 8. Евгенийев И.Е. *Насыпи из отходов углеобогатения // Автомобильные дороги*. 1987. № 6. 9. Комаров В.В., Малиновский Ю.И. *Использование отходов угольной промышленности // Автомобильные дороги*. 1987. № 7. 10. Купраш Р.П. *Использование горелых пород для устройства земполотна // Автомобильные дороги*. 1979. № 8. 11. Сасько Н.Ф. *Особенности технологии строительства земполотна из углеотходов // Автошляховик України*. 1992. № 1.

УДК 624.012:620.193

Б.М. Ониськів, Я.В. Сорока, П.Ф. Холод  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра будівельних конструкцій і мостів

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ $d=1,0$ м ПРИ СУМІСНІЙ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНИХ І ГОРИЗОНТАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

© 2000, Ониськів Б.М., Сорока Я.В., Холод П.Ф., 2002

**Наведені результати дослідження несучої здатності буронабивних паль  $d=1,0$  м при сумісній дії вертикальних і горизонтальних навантажень в умовах залягання гравійно-галькових ґрунтів на потужному шарі аргелітоподібних глин.**

У заплавах рік Закарпаття і Прикарпаття часто трапляються гравійно-галькові ґрунти, що залягають на глибину 7-14 м від поверхні і підстилаються аргелітоподібними