

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОРОЗОСТІЙКОСТІ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ, ЗМІЦНЕНИХ ЦЕМЕНТОМ

Костін Д. Ю., Арінюшкіна О. О., Сунь Цзянь  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Як шари основи дорожніх одягів все частіше використовуються щебенево-піщані суміші, зміцнені цементом. Головним недоліком цих шарів є їхня низька морозостійкість. У роботі досліджено вплив вмісту цементу та гранулометричного складу мінеральної частини зміцнених щебенево-піщаних сумішей на їхню марочну міцність. Визначені коефіцієнти морозостійкості зміцнених сумішей за різних схем випробувань.

**Ключові слова:** щебенево-піщана суміш, гранулометричний склад, морозостійкість, межа міцності за стискання, межа міцності на розтягування під час розколу.

### Вступ

Останнім часом спостерігається стійка тенденція до збільшення інтенсивності дорожнього руху та навантаження від коліс рухомого складу на всю конструкцію дорожнього одягу, через що під час будівництва шарів дорожніх одягів найважливішим є раціональний вибір матеріалів як для шарів основи, так і для покриття, що забезпечать працездатність всієї конструкції протягом запроєктованого терміну експлуатації в умовах роботи, які безперестанно ускладнюються. Одним з найбільш розповсюджених матеріалів шарів основи є щебенево-піщані суміші, зміцнені цементом [1]. Зниження властивостей матеріалів, які використовуються в шарах основи дорожнього одягу, дозволяє підвищити термін експлуатації не лише шарів покриття, а й дорожнього одягу загалом. Одним із напрямів покращення властивостей матеріалів шарів основи є збільшення їхньої морозостійкості.

### Аналіз публікацій

Під час здійснення досліджень [2–4] було визначено, що різні за гранулометричним складом та максимальним розміром зерен щебеню щебенево-піщані суміші за умови однакового вмісту мінеральної в'язальної речовини мають різні показники межі міцності на стискання та розтягування під час згинання. Але головним недоліком таких шарів залишається їхня низька морозостійкість [5]. Одним зі способів вирішення цієї проблеми може бути використання різноманітних домішок або фіброволокон як армувальної складової ЦПС.

Однак на сьогодні не дослідженим є вплив саме внутрішніх чинників на показники морозостійкості, зокрема на максимальний розмір

мінеральних зерен, гранулометричний склад та вміст мінеральної в'язальної речовини.

### Мета та постановка завдання

Метою є дослідження впливу максимального розміру та вмісту зерен щебеню, а також концентрації мінеральної в'язальної речовини на показники морозостійкості щебенево-піщаних сумішей, зміцнених цементом.

Для досягнення поставленої мети в лабораторії кафедри Будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О. К. Біруля були виготовлені зразки з піщаних, дрібно-, середньо- та крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей з концентрацією цементу від 2 до 10 %.

### Виклад основного матеріалу

Для визначення показників морозостійкості щебенево-піщаних сумішей, зміцнених цементом різних гранулометричних складів за максимальною крупністю зерен щебеню, необхідно було визначити вплив концентрації цементу на показники марочної міцності. Щебенево-піщані суміші, зміцнені мінеральною в'язальною речовиною, були виготовлені способом перемішування власноруч. Під час виготовлення щебенево-піщаних сумішей до висівок додавали щебінь, мінеральну в'язальну речовину та необхідну кількість води. Зразки циліндричної форми  $\varnothing 50,5$  мм, 71,4 мм, 101,5 мм та балочки, розміром 40 x 40 x 160 мм, були ущільнені в лабораторних умовах за температури 20 °С за допомогою преса марки «МС-1000», після чого їх занурювали до ванни з гідравлічним затвором, де вони мали затвердіти у відповідних умовах. Після 28 діб тверднення зразки водонасичували за температури плюс 20 °С і випробовували за допомогою преса марки «Р-20» та силовимірально-го датчика «САС ММС-5Т» для підвищення

точності вимірювань. Робочу частину випробувального устаткування наведено на рис. 1. Межу міцності на розтягування під час згинання та стискання обчислювали як середнє арифметичне результатів випробування трьох зразків, округлене до першого десяткового знака. Залежність показників межі міцності під час стискання та на розтягування під час згинання за різних концентрацій цементу у досліджуваних сумішах наведено на рис. 2 та 3. Зразки з піщаних сумішей умовно позначені як СЩ-5, дрібнозернисті умовно позначені як СЩ-10, середньозернисті умовно позначені як СЩ-20, а крупнозернисті щебенево-піщані суміші умовно позначені як СЩ-40.



Рис. 1. Залежність показника межі міцності під час стискання за різних концентрацій цементу в досліджуваних сумішах

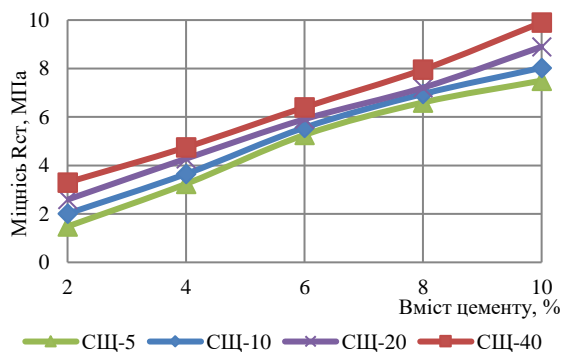


Рис. 2. Залежність показника межі міцності під час стискання за різних концентрацій цементу в досліджуваних сумішах

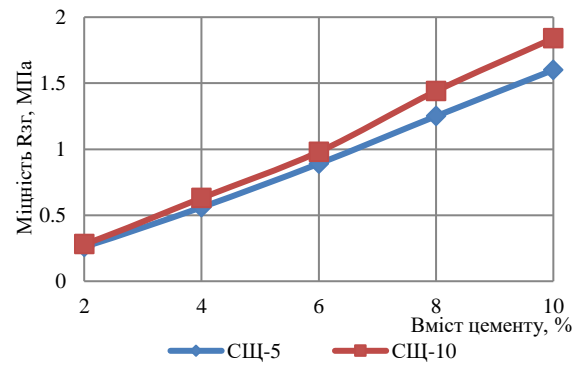


Рис. 3. Залежність показника межі міцності на розтягування під час згинання за різних концентрацій цементу в досліджуваних сумішах

Аналіз результатів досліджень, наведених на рис. 2 та 3, дозволив дійти таких висновків:

- зі збільшенням концентрації цементу показники межі міцності під час стискання в піщаних, дрібно-, середньо- та крупнозернистих сумішах збільшуються;

- у разі збільшення максимального розміру зерен щебеню на одній і тій самій концентрації цементу показники межі міцності під час стискання та на розтягування під час згинання збільшуються.

Багаторазове заморожування-відтаювання є одним з основних агресивних факторів впливу зовнішнього середовища, що зменшують міцність та термін експлуатації матеріалів, тому було визначено вплив цього фактора на межу міцності під час стискання та розколювання.

Згідно з [1] морозостійкість щебенево-піщаних сумішей визначається за показником межі міцності під час стискання зразків, з якими було здійснено певну кількість циклів заморожування-відтаювання за методикою відповідно до [6]. Основна інформація щодо морозостійкості щебенево-піщаних сумішей визначає властивість матеріалу тільки за одного виду напружено-деформованого стану. Однак в конструкціях дорожніх одягів шари з щебенево-піщаних сумішей сприймають не тільки напруження стискання, але й розтягування. Водночас результати досліджень морозостійкості за критерієм міцності під час розколювання можуть бути більш інформативними.

Для здійснення досліджень були заформовані зразки із піщаних, дрібно-, середньо та крупнозернистих сумішей, зміцнених цементом.

У процесі досліджень були отримані показники меж міцності під час стискання та розколювання після 5, 10, 20 та 30 циклів заморожування-відтаювання зразків досліджуваних щебенево-піщаних сумішей, зміцнених цементом за різних концентрацій в'язальної речовини.

Морозостійкість зразків з щебенево-піщаних сумішей, зміцнених мінеральною в'язальною речовиною, визначали способом впливу на попередньо водонасичені зразки різної кількості циклів заморожування-відтаювання [1, 6]

Заформовані зразки-циліндри водонасичували водою. Для водонасичення зразки було занурено на 1/3 їхньої висоти у воду, рівень якої підвищено на 2/3, витримано в такому стані протягом 24 годин і занурено в рідину на 48 годин у такий спосіб, щоб рівень води був вищим за зразки на 20 мм. Після водонасичення зразки заморожували в морозильній камері за температури мінус 25 °С, де витримували їх за зазначеної температури протягом 20 годин. Відтаювали зразки у воді протягом 4 годин за температури плюс 20 °С.

Результати здійснених випробувань наведено на рис. 4–11. Коефіцієнти морозостійкості наведені в табл. 1–8.

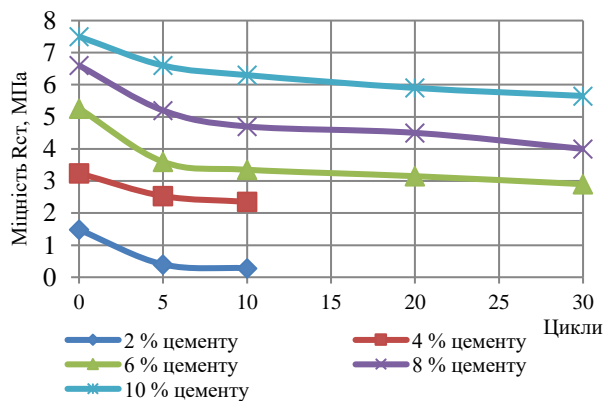


Рис. 4. Залежність зміни показників меж міцності під час стискання піщаної суміші, зміцненої цементом

Під час аналізу було визначено, що збільшення концентрації в'язальної речовини у складі зміцнених щебенево-піщаних сумішей призводить до зменшення впливу циклів заморожування-відтаювання на міцність під час стискання та на міцність під час розколювання для всіх досліджуваних складів ЩПС.

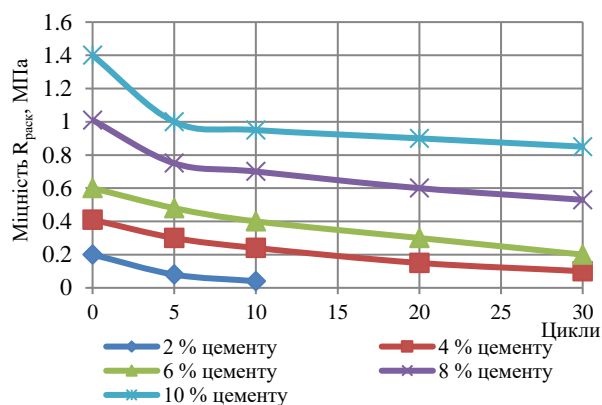


Рис. 5. Залежність зміни показника меж міцності під час розколювання в піщаній суміші, зміцненої цементом

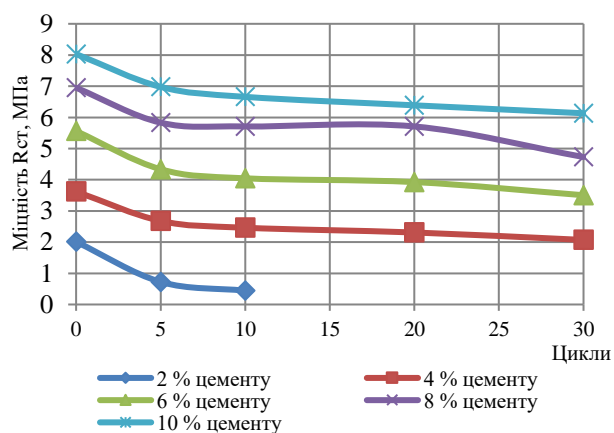


Рис. 6. Залежність зміни показника меж міцності під час стискання в дрібнозернистій суміші, зміцненої цементом

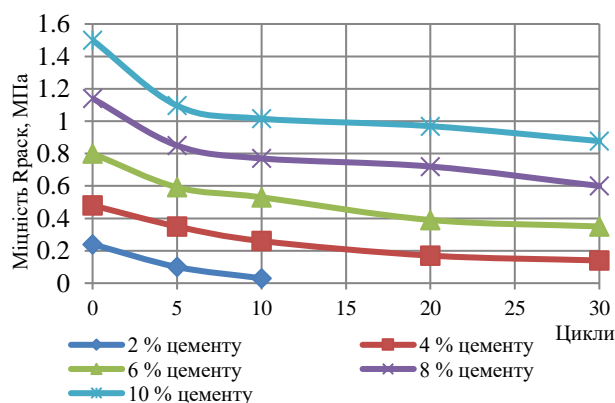


Рис. 7. Залежність зміни показника меж міцності під час розколювання дрібнозернистої суміші, зміцненої цементом

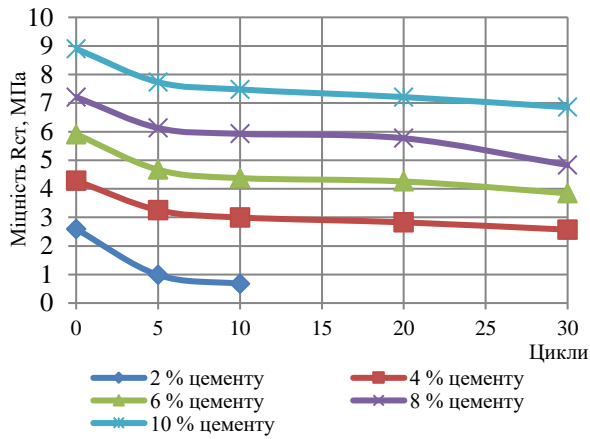


Рис. 8. Залежність зміни показників межі міцності під час стискання середньозернистої щебенево-піщаної суміші, зміцненої цементом

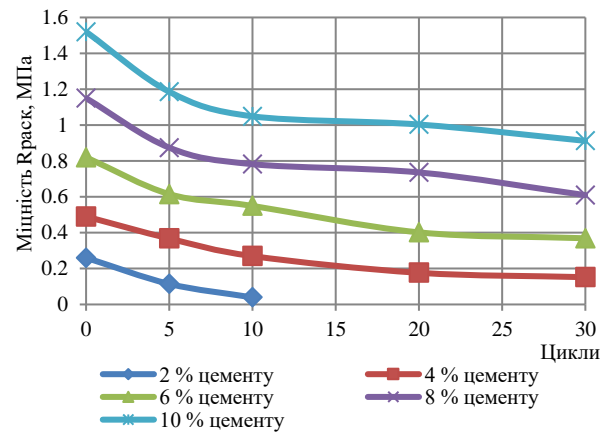


Рис. 11. Залежність зміни показника межі міцності під час розколювання крупнозернистої суміші, зміцненої цементом

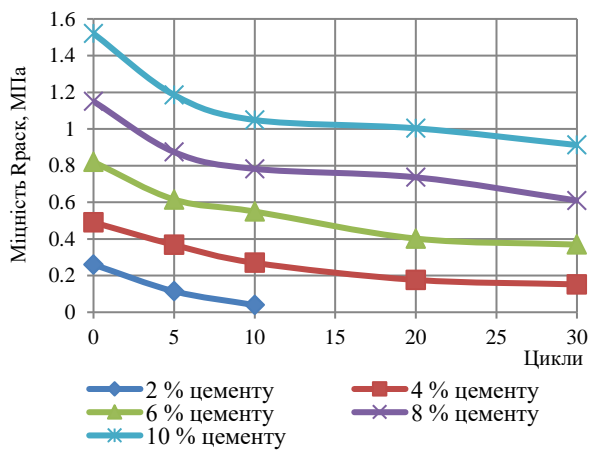


Рис. 9. Залежність зміни показника межі міцності під час розколювання середньозернистої щебенево-піщаної суміші, зміцненої цементом

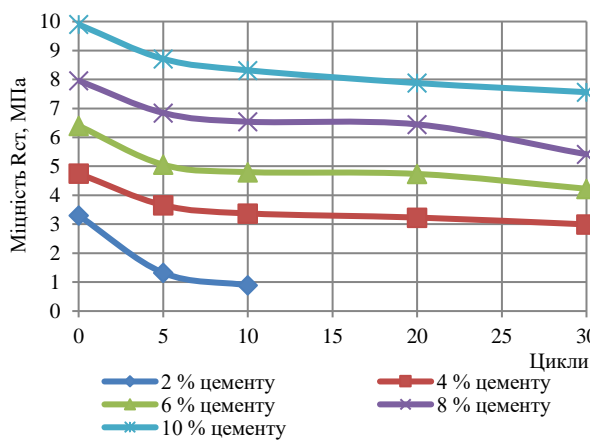


Рис. 10. Залежність зміни показника межі міцності під час стискання крупнозернистої суміші, зміцненої цементом

Таблиця 1 – Коефіцієнти морозостійкості для піщаних сумішей за умови випробування зразків під час стискання

Вміст цементу	Цикли заморозування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,27	0,19	-	-
4 %	1,00	0,78	0,66	-	-
6 %	1,00	0,77	0,64	0,60	0,55
8 %	1,00	0,83	0,71	0,68	0,61
10 %	1,00	0,88	0,84	0,79	0,75

Таблиця 2 – Коефіцієнти морозостійкості для піщаних сумішей за умови випробування зразків під час розколювання

Вміст цементу	Цикли заморозування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,40	0,20	-	-
4 %	1,00	0,73	0,59	0,37	0,24
6 %	1,00	0,80	0,67	0,50	0,33
8 %	1,00	0,74	0,69	0,59	0,52
10 %	1,00	0,71	0,68	0,64	0,61

Таблиця 3 – Коефіцієнти морозостійкості для дрібнозернистих щебенево-піщаних сумішей за умови випробування зразків під час стискання

Вміст цементу	Цикли заморозування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,36	0,22	-	-
4 %	1,00	0,74	0,68	0,64	0,57
6 %	1,00	0,78	0,73	0,71	0,63
8 %	1,00	0,84	0,82	0,82	0,68
10 %	1,00	0,87	0,83	0,80	0,76

Таблиця 4 – Коефіцієнти морозостійкості для дрібнозернистих щебенево-піщаних сумішей за умови випробування зразків під час розколювання

Вміст цементу	Цикли заморожування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,42	0,13	-	-
4 %	1,00	0,73	0,54	0,35	0,29
6 %	1,00	0,74	0,66	0,49	0,44
8 %	1,00	0,75	0,68	0,63	0,53
10 %	1,00	0,73	0,68	0,65	0,58

Таблиця 5 – Коефіцієнти морозостійкості для середньозернистих щебенево-піщаних сумішей за умови випробування зразків під час стискання

Вміст цементу	Цикли заморожування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,38	0,26	-	-
4 %	1,00	0,76	0,70	0,66	0,60
6 %	1,00	0,79	0,74	0,72	0,65
8 %	1,00	0,85	0,82	0,80	0,67
10 %	1,00	0,87	0,84	0,81	0,77

Таблиця 6 – Коефіцієнти морозостійкості для середньозернистих щебенево-піщаних сумішей за умови випробування зразків під час розколювання

Вміст цементу	Цикли заморожування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,44	0,15	-	-
4 %	1,00	0,75	0,55	0,36	0,31
6 %	1,00	0,75	0,67	0,49	0,45
8 %	1,00	0,76	0,68	0,64	0,53
10 %	1,00	0,78	0,69	0,66	0,60

Таблиця 7 – Коефіцієнти морозостійкості для крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей за умови випробування зразків під час стискання

Вміст цементу	Цикли заморожування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,40	0,27	-	-
4 %	1,00	0,77	0,71	0,68	0,63
6 %	1,00	0,79	0,75	0,74	0,66
8 %	1,00	0,86	0,82	0,81	0,68
10 %	1,00	0,88	0,84	0,80	0,76

Таблиця 8 – Коефіцієнти морозостійкості для крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей за умови випробування зразків під час розколювання

Вміст цементу	Цикли заморожування-відтаювання				
	0	5	10	20	30
2 %	1,00	0,45	0,17	-	-
4 %	1,00	0,75	0,56	0,37	0,32
6 %	1,00	0,76	0,67	0,51	0,46
8 %	1,00	0,77	0,69	0,65	0,54
10 %	1,00	0,79	0,69	0,66	0,61

Для щебенево-піщаних сумішей, зміцнених однаковим вмістом цементу з більшою крупністю мінеральних зерен у своєму складі, властиві більш високі значення коефіцієнтів морозостійкості, порівнюючи з укріпленими щебенево-піщаними сумішами з меншим максимальним розміром мінеральних зерен у своєму складі. Цикли заморожування-відтаювання більшою мірою впливають під час випробувань зразків за схемою на розтягування в процесі розколювання.

### Висновки

1 збільшення концентрації в'язальної речовини в складі зміцнених щебенево-піщаних сумішей призводить до зменшення впливу циклів заморожування-відтаювання на міцність під час стискання та на міцність під час розколювання для всіх досліджуваних складів ЩПС;

2 для щебенево-піщаних сумішей, зміцнених однаковим вмістом цементу з більшою крупністю мінеральних зерен у своєму складі, властиві більш високі значення коефіцієнтів морозостійкості, порівнюючи зі зміцненими щебенево-піщаними сумішами з меншим максимальним розміром мінеральних зерен у своєму складі;

3 вплив циклів заморожування-відтаювання більшою мірою визначається під час випробування зразків за схемою на розтягування під час розколювання.

### Література

1. ДСТУ 9177-3: 2022. Матеріали щебеневої та гравійної для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими [Чинний від 2023-01-01]. Київ: УкрНДНЦ, 2023. 20 с. (Державний стандарт України).
2. Дослідження міцності щебенево-піщаних сумішей, укріплених портландцементом / Жданюк В. К., Костін Д. Ю., Арінущкіна О. О., Павлютін К. О.: матеріали Всеукраїнської науко-

- во-практичної конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг». Харків, 2016. С. 53–57.
3. Жданюк В. К., Костін Д. Ю., Аринушкіна О. О. Дослідження впливу комбінованих в'язучих на властивості щебенево-піщаних сумішей: міжнародний збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та металознавство»). Луцьк. 2016. Вип. 46. С. 7.
  4. Аринушкіна О. О., Жданюк В. К. Укріплені цементом щебенево-піщани суміші для будівництва дорожніх одягів автомобільних доріг. Науковий вісник будівництва. 2016. № 1(83). С. 120–125.
  5. Сунь Дзянь, Жданюк В. К. Дослідження показників міцності і морозостійкості укріплених цементом щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів: зб. Тез доповідей Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів [Електронний ресурс]. Луцьк: ЛНТУ, 2022. С. 56–58.
  6. ДСТУ Б В.2.7-309: 2016. Грунти, укріплені в'язучим. Методи випробувань. [Чинний від 2017-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 30 с. (Державний стандарт України).

#### References

1. DSTU 9177-3: 2022. Crushed and gravel materials for road construction. Specifications. Part 3. Materials reinforced with mineral binders. [Valid from 2023-01-01]. Kyiv: UkrNDNC, 2023. 20 p. (State Standard of Ukraine).
2. Study of the strength of crushed sand and mixtures reinforced with Portland cement / Zhdanyuk V. K., Kostin D. Yu., Arinushkina O. O., Pavlyutin K. O.: Materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference "Modern technologies of road construction and operation". Kharkiv, 2016. P. 53–57.
3. Zhdanyuk V. K., Kostin D. Yu., Arinushkina O. O. Study of the combined binders influence on the properties of crushed stone-sand mixtures: international collection (by fields of knowledge "Mechanical engineering and metalworking"; "Engineering mechanics"; "Metallurgy and metallurgical science"). Lutsk. 2016. No. 46. 2016. P. 7 p.
4. Arinushkina O. O., Zhdanyuk V. K. Cement-reinforced gravel-sand mixtures for the construction of road surfaces of highways. Scientific bulletin of construction. 2016. No. 1(83). P. 120–125.
5. Sun Dzyan, Zhdanyuk V. K. Study of indicators of strength and frost resistance of cement-reinforced gravel-sand mixtures made of ferruginous quartzites: international scientific and practical internet conference of young scientists and students. Innovative processes in the field of road construction. A collection of abstracts of reports. [Electronic resource]. Lutsk: LNTU, 2022. P. 56–58.
6. DSTU B V.2.7-309: 2016. Soils reinforced with a binder. Test methods. [Valid from 2017-01-01]. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2016. 30 p. (State Standard of Ukraine).

**Костін Дмитро Юрійович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О. К. Біруля, [kostin\\_d@khadi.kharkov.ua](mailto:kostin_d@khadi.kharkov.ua), тел. +38 066-111-15-22,

**Аринушкіна Олена Олександрівна**<sup>1</sup>, асист. каф. будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О. К. Біруля, [lenaarinushkina@gmail.com](mailto:lenaarinushkina@gmail.com), тел. +38 066-362-66-06,

**Сунь Цзянь**<sup>1</sup>, аспірант каф. будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О. К. Біруля, [1586118851@qq.com](mailto:1586118851@qq.com), тел. +38 063-838-72-57,

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

#### The investigation of the frost resistance of the aggregate-sand mixes

**Abstract. Problem.** Recently there is a steady trend to the increase of the intensity of traffic and of the loads from the wheels of the rolling stock on the whole structure of the road pavement, therefore during the building of the road pavement layers the most important thing is a rational choice of the materials for the base layers and for the top layers which will provide the performance of the entire structure during the designed service life under the working conditions which are getting worse all the time. Nowadays the most widespread material for the road base layers is aggregate mix strengthened by cement. One of the ways of the base layers materials improving is the increase of their frost resistance. One of the ways to solve this problem can be the different additive and fibers usage as a reinforcing component of the aggregate mix. But until today the influence of the internal factors such as size of mineral grains, granulometric composition and binder content on the indexes of frost resistance is still not investigated. **Goal.** The aim of the research is the investigation of the maximum grain size and content and also mineral binder concentration influence on the indexes of frost resistance of the aggregate mixes strengthened by cement. **Methodology.** To achieve this goal in the laboratory of the Department of Highway Building and Maintenance named after O. Birulia the samples of sand, fine-grained, medium-grained and coarse-grained aggregate mixes with cement content from 2 to 10 % were prepared. **Results.** For the frost resistance indexes determination of the aggregate mixes of different compositions strengthened by cement according to the maximum grain size the cement concentration influence on the grade strength indexes was found. The research results have shown that: with the increase of

cement content the compressive strength indexes in the fine, medium and coarse-grained mixes are increasing; the increase of the maximum grain size of the same cement concentration shows that compressive strength and tensile strength indexes are increasing. The repeated freezing and thawing is one of the main aggressive factors of the external environment influence which reduces strength and durability of the materials, therefore the influence of this factor on the compressive strength and tensile strength was evaluated. In Ukraine according to the current standard the frost resistance of the aggregate mixes is evaluated only in terms of compressive strength index of samples which were subjected to certain number of freeze-thaw cycles. It is determined that the aggregate mixes with the same cement content with larger mineral grains in its composition have higher indexes of the frost resistance coefficient. Also it was found that the influence of the freeze-thaw cycles is more informatively shown at the samples testing according to the split tensile test. **Conclusions:** 1 the increase of the binder content in the composition of strengthened aggregate mixes leads to the decrease of the freeze-thaw cycles influence on the compressive strength and splitting strength for all studied compositions of ag-

gregate mixes; 2 the aggregate mixes strengthened by the same cement amount with the larger size of mineral grains in its composition have higher values of frost resistance coefficients in comparison with strengthened aggregate mixes with smaller maximum size of mineral grains in its composition; 3 the influence of the freeze-thaw cycles is showed more informatively by the split tensile scheme.

**Key words:** aggregate mix, granulometric composition, frost resistance, compressive strength, tensile strength.

**Kostin Dmytro**, Ph.D., Assoc. Prof., Road building and maintenance named after Oleksandr Birulya Department, [kostin\\_d@khadi.kharkov.ua](mailto:kostin_d@khadi.kharkov.ua), tel. +38 066-111-15-22,

**Arinushkina Olena**, Ass. Prof., Road building and maintenance named after Oleksandr Birulya Department [lenaarinushkina@gmail.com](mailto:lenaarinushkina@gmail.com), tel. +38 066-362-66-06,

**Jian Sun**, PhD student, Road building and maintenance named after Oleksandr Birulya Department [1586118851@qq.com](mailto:1586118851@qq.com), tel. +38 063-838-72-57  
Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

---