

Д. В. Грецький, к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси, Україна
greckij_denis@list.ru

ОПТИМІЗАЦІЯ ВМІСТУ БІТУМНОГО В'ЯЖУЧОГО ПРИ ГІДРОФОБІЗАЦІЇ ҐРУНТІВ ДЛЯ ФУНДАМЕНТОБУДІВНИЦТВА

Робота присвячена визначенню кількісного вмісту бітумного в'язучого при гідрофобізації ґрунту з метою використання його як зовнішнього шару в фундаментній конструкції. Актуальність роботи полягає в тому, що з допомогою принципу суперпозицій визначено оптимальний кількісний вміст бітумного в'язучого, що забезпечує найкращі показники фізико-механічних властивостей гідрофобізованих ґрунтів. За результатами досліджень рекомендовано процентне співвідношення кількості бітумного в'язучого для гідрофобізації ґрунту.

Ключові слова: оптимізація, ґрунти, гідрофобізація, бітумне в'язуче, кількісний вміст.

Постановка проблеми. Історично склалося так, що вперше меліоровані ґрунти знайшли застосування в дорожньому, аеродромному та трубопровідному будівництві. У цій галузі розроблені вимоги до ґрунтів, що укріплені рідкими органічними в'язучими матеріалами з добавками або без добавок мінеральних в'язучих [1, 2]. Ґрунти гідрофобізуються для підвищення водостійкості, зменшення водопроникності і збільшення їхньої несучої здатності [3, 4]. На основі досвіду дорожнього, аеродромного, трубопровідного будівництва розроблено вимоги до фізико-механічних властивостей закріплених ґрунтів для фундаментабудівництва.

Згідно з досвідом автодорожнього та аеродромного будівництва [1, 2] при проектуванні складів сумішей ґрунту з органічними в'язучими має бути визначене оптимальне дозування в'язучого продукту, що забезпечує найкращі фізико-механічні властивості гідрофобізованих ґрунтів.

Дотепер досліджень щодо оптимального складу в'язучого ґрунту гідрофобізації для фундаментабудівництва досить мало, тому існує необхідність у розвитку подібних досліджень.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Питання меліорації ґрунтів були розроблені у працях С. Д. Воронкевича [1], В. Т. Трофімова [2], І. І. Бройда [5], С. К. Ілюполова [6], Ф. М. Мустафіна [7].

Мета роботи – визначення оптимального значення дозування бітумного органічного в'язучого від загальної маси ґрунту гідрофо-

бізації; вибір найбільш значущих фізико-механічних властивостей гідрофобізованих ґрунтів та побудова цільової функції згідно з характером поведінки цих властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вимоги до фізико-механічних властивостей гідрофобізованих ґрунтів, що використовуються для вимог фундаментабудівництва, розроблені з урахуванням досвіду дорожнього і трубопровідного будівництва, при цьому ставилися більш підвищені вимоги до гідрофобних властивостей та до корозійної активності і меншою мірою – до міцнісних властивостей ґрунтів.

Для визначення оптимального дозування вибрано п'ять основних фізико-механічних властивостей: y_1 – корозійна активність (за щільністю поляризувального струму, mA/cm^2); y_2 – набухання, %; y_3 – водонасичення, %; y_4 – газопроникність, мД; y_5 – опір стисненню, МПа.

На підставі проведених експериментів по гідрофобізації ґрунтів [8] було знайдено межі варіації дозування в'язучого – від 4 до 12 % від маси ґрунту. Тому експерименти проводилися при дев'яти фіксованих значеннях дозування в'язучого від 4 до 12 % з кроком в 1 %. Така дискретність параметра k забезпечувала точність визначення оптимального дозування в $\Delta k = \pm 0,5$ %, що є достатнім з урахуванням сумарної похибки експериментів у 10 %.

Результати визначення фізико-механічних властивостей гідрофобізованих ґрунтів подано в табл. 1.

Таблиця 1

**Матриця початкових даних
для проведення оптимізації**

Дозування в'язучого, %	Номер дослідів і властивості	Щільність струму, мА/см ²	Набухання, %	Водонасичення, %	Газопроникність, мД	Тимчасовий опір стисненню, МПа
		1	2	3	4	5
4	1	0,11	10,6	11,4 9	1148,2	0,28
5	2	0,104	9,40	9,03	833,33	0,26
6	3	0,09	5,97	7,31	592,59	0,24
7	4	0,078	4,85	6,04	407,41	0,22
8	5	0,065	4,17	5,44	277,78	0,2
9	6	0,056	4,32	5,55	185,19	0,17
10	7	0,047	4,77	5,89	129,63	0,15
11	8	0,039	5,44	6,64	74,07	0,13
12	9	0,033	6,56	9,40	55,56	0,11

Як вже зазначалося, властивості гідрофобізованих ґрунтів незалежні один від одного і залежать, у наших припущеннях, лише від одного параметра – дозування в'язучого. Це дозволяє задати цільову функцію для процесу оптимізації як суму окремих доданків (властивостей), визначених з урахуванням їх значимості.

Для вирішення поставленого завдання необхідно привести кількісні характеристики усіх п'ятьох властивостей, що зіставляються, у форму матриці [9].

Зробимо перетворення початкової матриці в безрозмірний вигляд:

$$\bar{y}_{ij} = \frac{y_{ij} - (y_{\min})_j}{(y_{\max})_j - (y_{\min})_j}, \quad (1)$$

де y_{ij} – кількісна характеристика j -ї властивості гідрофобізованих ґрунтів в i -му досліді (рядку матриці);

$(y_{\max})_j$, $(y_{\min})_j$ – максимальне і мінімальне значення кількісної характеристики j -ї властивості гідрофобізованих ґрунтів у всій серії дослідів (тобто за j -м стовпцем матриці).

Проведене перетворення, по-перше, переводить кількісні характеристики властивостей гідрофобізованих ґрунтів у безрозмірний вигляд, а по-друге, встановлює діапазон зміни всіх експериментальних значень характеристик від 0 до 1, тобто нормує матрицю [10].

Перетворену матрицю подано в табл. 2.

Таблиця 2

Нормована матриця початкових даних

Дозування в'язучого %	Щільність струму, мА/см ²	Набухання, %	Водонасичення, %	Газопроникність, мД	Тимчасовий опір стисненню, МПа
	1	2	3	4	5
4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	0,845	0,814	0,593	0,712	0,925
6	0,679	0,279	0,309	0,492	0,787
7	0,536	0,105	0,099	0,322	0,655
8	0,381	0,000	0,000	0,203	0,529
9	0,274	0,023	0,012	0,119	0,397
10	0,167	0,093	0,074	0,068	0,259
11	0,071	0,198	0,198	0,017	0,132
12	0,000	0,372	0,655	0,000	0,000

Графіки залежності нормованих функцій від дозування в'язучого зображено на рис. 1.

Оптимальне дозування в'язучого визначають, виходячи з таких умов:

- досягнення мінімуму для функцій водонасичення, набухання, щільності струму і газопроникності від дозування в'язучого ($j = 1, 2, 3, 4$);

- досягнення максимуму для функцій тимчасового опору стисненню від дозування в'язучого ($j = 5$).

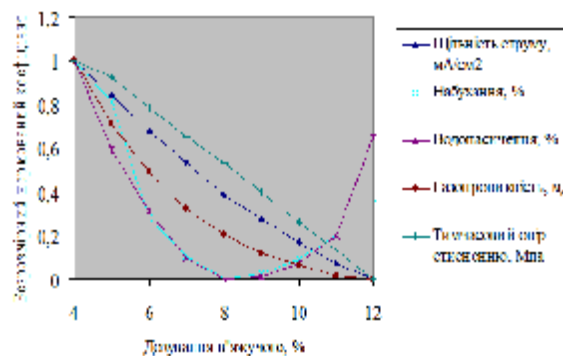


Рис. 1. Графіки залежностей нормованих функцій від дозування в'язучого

Оскільки властивості незалежні одна від одної, для визначення оптимального значення дозування в'язучого можна використовувати принцип суперпозиції [10], тобто оптимальне

значення буде визначатися, виходячи з сумарної зміни деякої цільової функції від параметрів, що впливають. При цьому необхідно враховувати, що частина доданків повинна досягати максимального значення, а інша – мінімального. Тому побудуємо цільову функцію таким чином:

$$S(k) = \sum_{m=5} (y_m(k) \cdot \delta_m) - \sum_{m=1,2,3,4} (y_n(k) \cdot \delta_n). \quad (2)$$

Знак «-» перед другою сумою забезпечує умову досягнення мінімальних значень кількісних характеристик 1, 2, 3, і 4-ї властивостей гідрофобізованих ґрунтів (нумерація відповідно до табл. 2), досягнувши максимального значення цільової функції в цілому, тобто при:

$$S(k) \longrightarrow \max. \quad (3)$$

Для пошуку екстремуму функціонала (3) можна визначити вид аналітичних залежностей $y_j = P_j(k)$, наприклад, методом найменших квадратів, і знайти максимум з умови $dS/dk = 0$. Проте у такому разі відбудеться накопичення помилок екстраполяції емпіричних функцій, що збільшить похибку у визначенні оптимального дозування в'язучого.

Тому вибраний інший шлях пошуку екстремуму функціонала (3), а саме – побудова функціонала безпосередньо за емпіричними даними, тобто за співвідношенням [11]:

$$S_i = \sum_{m=5} (y_{im} \cdot \delta_m) - \sum_{m=1,2,3,4} (y_{in} \cdot \delta_n), \quad (4)$$

де значення y_{ij} беруться з нормованої матриці (табл. 2).

Графік залежності $S(k)$ зображено на рис. 2. Як випливає з приведених даних, залежність $S(k)$ має виражений максимум при дозуванні в'язучого $k = 10 - 11\%$, що і є його оптимальним значенням.

Повертаючись до фізичних розмірностей кількісних характеристик властивостей гідрофобізованих ґрунтів при дозуванні в'язучого $k = 10 - 11\%$, отримуємо їх значення, що подані в табл. 3.

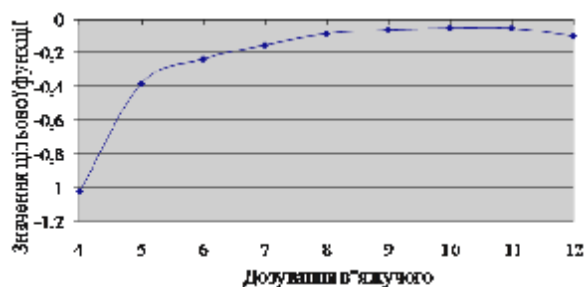


Рис. 2. Залежність цільової функції від дозування в'язучого

Як випливає з порівняння отриманого оптимального значення з вимогами до властивостей гідрофобізованих ґрунтів, усі властивості при оптимальному дозуванні в'язучого з великим запасом задовольняють заданим вимогам. Ці вимоги задовольняються при вологості ґрунту від 15 до 25% [8].

З урахуванням похибки експериментальних даних $\sim 10\%$, прийемо похибку визначення значень оптимального дозування як $\Delta k = 0,1 \cdot (12\% - 4\%) = 0,8\% \approx 1\%$.

Таблиця 3

Властивості гідрофобізованих ґрунтів при оптимальному дозуванні в'язучого

Найменування	Щільність струму, мА/см ²	Набухання, %	Водонасичення, %	Газопроникність, мД	Тимчасовий опір стисненню, МПа
Факт. знач.	0,119	0,145	0,136	0,042	0,195

Висновки. Підсумовуючи вищесказане, можна рекомендувати вміст в'язучого для гідрофобізації ґрунтової суміші – 11% за умови зменшення значення таких показників, як газопроникність, водонасичення, набухання та збільшення показника – тимчасовий опір стисненню.

Для практичного застосування при приготуванні в'язуче-ґрунтової суміші в умовах будмайданчика з використанням ґрунтозмішувальних установок рекомендується дозування бітумного в'язучого 10–11%.

Список літератури

1. Воронкевич С. Д. Основы технической мелиорации грунтов. / С. Д. Воронкевич. – М. : Научный мир, 2005. – 504 с.
2. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии / [под ред. В. Т. Трофимова]. – М. : Геомаркетинг, 2012. – 320 с.
3. Грецький Д. В. Підвищення довговічності конструкції пальового фундаменту у просадочних грунтах II типу / Д. В. Грецький, П. А. Донченко // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2006. – Вип. 37. – С. 33–39.
4. Грецький Д. В. Довговічність антифрикційного покриття пальового фундаменту у просадочних грунтах II типу / П. А. Донченко, В. М. Коновал, Д. В. Грецький // Будівельні конструкції. – К. : НДІБК, 2006. – Вип. 65. – С. 276–283.
5. Бройд И. И. Струйная геотехнология : учеб. пособ. / И. И. Бройд. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 448 с.
6. Органические вяжущие для дорожного строительства : учеб. пособ. для вузов по спец. «Автомоб. дороги и аэродромы» / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : Юг, 2003. – 428 с.
7. Мустафин Ф. М. Использование гидрофобизированных грунтов при строительстве и ремонте объектов трубопроводного транспорта : автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук : спец. 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» / Ф. М. Мустафин. – Уфа, 2003 – 47 с.
8. Грецький Д. В. Фізико-механічний механізм структуризації гідрофобізованих ґрунтів / Д. В. Грецький, В. М. Коновал // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2006. – № 3. – С. 3–7.
9. Ашмарин И. П. Быстрые методы статической обработки и планирования экспериментов / Ашмарин И. П., Васильев Н. Н., Амбросов В. П. – Л. : Изд-во Ленинградского ун-та, 1971. – 77 с.
10. Жиглявский А. А. Методы поиска глобального экстремума / А. А. Жиглявский, А. Г. Жилинскас. – М. : Наука, 1991. – 248 с.
11. Львовский Е. Н. Статические методы построения эмпирических формул /

Е. Н. Львовский. – М. : Высшая школа, 1988. – 239 с.

References

1. Voronkevich, S. D. (2005) Fundamentals of technical reclamation of soils. Moscow: Nauchnyy mir, 504 p. [in Russian].
2. Basic concepts of engineering geology and environmental geology (2012). In: V. T. Trofimov (Ed.). Moscow: Geomarketing, 320 p. [in Russian].
3. Gretskiy, D. V. and Donchenko, P. A. (2006) Increased durability pile foundations in slumping grounds of the second type. *Naukovyy visnyk budivnytstva*, (37). Kharkiv: HDTUBA, HOTV ABU, pp. 33–39 [in Ukrainian].
4. Donchenko, P. A., Konoval, V. M. and Gretskiy, D. V. (2006) Durability antifriction coating on pile foundations in slumping grounds of the second type. *Budivelni konstruktsii*, (65). Kyiv: NDIBK, pp. 276–283 [in Ukrainian].
5. Broyd, I. I. (2004) Jet geotechnology. Moscow: Izd-vo ASV, 448 p. [in Russian].
6. Iliopolo, S. K., Mardirosova, I. V., Uglova, E. V. and Bezrodnyy, O. K. (2003) Organic binders for road construction. *Rostov-na-Donu: Yug*, 428 p. [in Russian].
7. Mustafin, F. M. (2003) The use of hydrophobized soils during the construction and repair of pipeline transport objects: the thesis for scientific degree of Doctor of Science: specialty 25.00.19 "Construction and operation of oil and gas pipelines, depots and warehouses. Ufa, 47 p. [in Russian].
8. Gretskiy, D. V. and Konoval, V. M. (2006) Physical-mechanical mechanism for structuring of hydrophobized soils. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitety*, (3), pp. 3–7 [in Ukrainian].
9. Ashmarin, I. P., Vasilyev, N. N. and Ambrosov, V. P. (1971) Rapid methods of static processing and planning of experiments. Leningrad: Izd-vo Leningradskogo un-ta, 77 p. [in Russian].
10. Zhiglyavskiy, A. A. and Zhilinskias, A. G. (1991) Methods of global extremum search. Moscow: Nauka, 248 p. [in Russian].
11. Lvovskiy, E. N. (1988) Static methods of empirical formulas building. Moscow: Vysshaya shkola, 239 p. [in Russian].

D. V. Gretskeyi, *PhD, associate professor*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, 18006, Cherkasy, Ukraine
greckij_denis@list.ru

OPTIMIZATION OF ASPHALTIC BINDER CONTENT AT SOILS HYDROPHOBIZATION FOR FOUNDATION ENGINEERING

Introduction. *The article explores the evaluation of the optimal quantitative content of asphaltic binder at soils hydrophobization in order to use it as an outer layer in foundation structure. The relevance of the article lies in the fact that by using the principle of superposition optimal quantitative content of asphaltic binder is determined, which ensures the best performance of physical and mechanical properties of hydrophobized soils.*

The objective of the article is to determine the optimal quantitative content of asphaltic binder at soils hydrophobization using mathematical calculations while balancing the main physical and mechanical properties of hydrophobized soils.

Problem statement. *According to projects construction procedures, while designing the mixes of soils and asphaltic binders, the optimal dosage of binder product is to be determined. This dosage is meant to ensure the best physical and mechanical properties of hydrophobized soils, namely indicators, such as corrosiveness, swelling, water saturation, gas permeability, resistance to compression. These indicators determine the resistance of hydrophobized layer to negative impact of soil space and its ability to counteract the destruction of foundations.*

Statement of the key material of the article. *Since the properties are independent of each other, in order to determine the optimal dosage values of binders one can use the principle of superposition, which means that the optimal value will be determined on the basis of a total change in some objective function because of influencing factors. It is also necessary to take into account that some of influencing factors should reach their maximum value, while the other ones – their minimal value.*

Results and their discussion. *When plotting the dependence of the objective function of all the properties of hydrophobized soil on the dosage of asphaltic binder, a distinct extreme is observed within 10-11 % of the soil weight.*

Conclusions and recommendations. *According to the results of the research the percentage ratio of asphaltic binder at soils hydrophobization constitutes 10-11 %.*

Keywords: *optimization, soils, hydrophobized layer, asphalt binder, quantitative content.*

*Рецензенти: С. В. Заболотній, д.т.н., доцент,
С. В. Голуб, д.т.н., професор*