

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЧЕРВОНОГО ШЛАМУ ЯК ОСНОВИ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ

Ковальчук О.Ю., к.т.н., с.н.с.,

Пушкар В.І., к.т.н.,

Пасько А.В.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Abstract. The results of research are focused on using of red mud as a component of stabilized soil for road construction. According to the results of physical mechanical studies it was found the possibility of using red mud as a main component (80% by mass) of stabilized soil.

Вступ. Більшість доріг розташовано на ґрунтах з низькою несучою здатністю. Це обумовлює необхідність перед будівництвом основи дорожнього одягу проводити ряд заходів по підвищенню несучої здатності ґрунтів шляхом їх зміцнення.

Існує багато шляхів зміцнення слабких ґрунтів. Дозволяється вводити до складу ґрунтів відходи промислового виробництва (золи та шлаки), мінеральні та органічні в'язучі речовини та рідкі лужні активатори (содолужний плав, рідинне скло, тощо). Так, для зміцнення перезволожених ґрунтів використовують вапно у кількості 2%, що дозволяє знизити вологість та підвищити міцність ґрунту [1]. Покращення фізико-механічних властивостей зміцнення ґрунтів було досягнуто шляхом введення золи від спалювання осадів стічних вод [2]. Поліпшення показників морозостійкості досягається завдяки використанню у складі зміцнених ґрунтів червоного шламу (відходу глиноземистого виробництва) [3]. Можливість застосування червоного шламу у складі ґрунтів досліджувалась державним всесоюзним дорожнім науково-дослідним інститутом. В результаті проведених досліджень було розроблено методичні рекомендації по застосуванню червоних шламів у складі зміцнених ґрунтів, бетонів та розчинів [4]. Розроблена методика дозволяла використовувати червоний шлам як компоненту складову зміцненого ґрунту, проте його кількість значно обмежувалась (до 20-30%).

Науковою школою НДІВМ КНУБА ім. В.Д. Глуховського було розроблено ряд технологічних рішень по використанню червоного шламу при виробництві будівельних матеріалів. Відомо, що у високолужних середовищах, які створюються лужними в'язучими речовинами, більшість силікатних утворень (як природних мінеральних, так і штучних у вигляді відходів виробництв, у тому числі низько активних) значно активуються і набувають здатності синтезувати міцний водостійкий камінь [5]. Так, розроблено склади лужних цементів з використанням до 60% червоного шламу від маси цементу [6]. При цьому міцність штучного каменю сягає до 60 МПа у віці 28 діб. Також було поширено сфери застосування червоного шламу у пресованих виробках (цегла, плитка, черепиця). Масова частка червоного шламу в шихті сягає до 75 %, а міцність виробів на стиск складає 25-45 МПа [7]. Аналізуючи отриманні результати, можна стверджувати про можливість використання червоного шламу у пресованих виробках. Це дозволяє використовувати червоний шлам як компонент зміцнених ґрунтів у дорожньому будівництві.

Метою представлених досліджень було вивчення залежності фізико-механічних властивостей зміцнених з використанням лужного цементу ґрунтів від кількості введеного червоного шламу.

Сировинні матеріали та методи дослідження. Як основний компонент зміцненого ґрунту було використано червоний шлам (КНР) у природному стані (1500 м²/кг за Блейном) та основний доменний гранульований шлак зі скла фазою не менше 85% (КНР), розмелений до питомої поверхні 450 м²/кг (за Блейном). Хімічний склад червоного шламу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад червоного шламу

Найменування	Вміст оксидів, % за масою											В.п.п., %
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	
Червоний шлам (КНР)	19,97	2,43	24,20	26,67	0,04	0,56	1,82	7,78	0,20	0,08	-	-

В якості лужного компоненту було використано метасилікат натрію п'ятиводний (ТУ 2145-001-52257004-2002) та соду кальциновану (ГОСТ 5100-85).

Зразки зміцнених ґрунтів було виготовлено згідно СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.1.1.01-2013. Для піщаних і глинистих ґрунтів з найбільшою крупністю зерен та агрегатів менше 5 мм форма зразків приймається циліндричною діаметром $d=50$ мм та висотою $h=50$ мм. Формування зразків для випробувань виконують у металевих прес-формах (рис. 1) на протязі 3 хвилин під статичним навантаженням $(30 \pm 0,3)$ МПа. Підйом навантаження на ущільнюючу суміш до 30 МПа виконують за 5-10 с. Випробування міцнісних характеристик проводили у віці 28 діб за нормальних умов ($t=20 \pm 2$ °С, вологість 95 ± 5 %).



Рис. 1. Формування зразків для проведення випробувань методом напівсухого пресування.

Після 7 діб тверднення зразків в нормальних умовах їх піддавали повному водонасиченню протягом 2 діб (рис. 2). Коефіцієнт розм'якшення визначали за формулою:

$$K_{\delta} = \frac{R_{i\delta n}}{R_{н\delta\delta}}, \quad (1)$$

де $R_{i\delta n}$ – міцність водонасиченого зразку, МПа;

$R_{н\delta\delta}$ – міцність зразку, що зберігався за нормальних умов, МПа.



а)



б)

Рис. 2. Визначення коефіцієнту розм'якшення зміцненого ґрунту:
а – зразок в нормальних умовах, б – зразок в умовах водонасичення

Результати та обговорення. На перших стадіях дослідження було підбрано компонентний склад зміцнених ґрунтів, визначений коефіцієнт розм'якшення та отримано результати міцності на стиск. Компонентний склад розроблених складів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Вплив компонентного складу на коефіцієнт розм'якшення зміцненого ґрунту

№ скла-ду	Компонентний склад зміцненого ґрунту							Вологість, %	Густина, г/см ³	Коефіцієнт розм'якшення
	Склад цементу, %			Черво-ний шлам, %	Ґрунт, %	Граніт-ний відсів, %	Пісок, %			
	Шлак	Сода	МС							
Г-1	9,2	0,4	0,4	80	10	-	-	20	2,007	6,0
Г-2	9,2	0,4	0,4	70	20	-	-	20	2,049	5,2
Г-3	9,2	0,4	0,4	60	30	-	-	18	2,104	6,8
Г-4	9,2	0,4	0,4	65	0	25	-	18	2,106	0,83
Г-5	9,2	0,4	0,4	60	5	25	-	16	2,117	0,85
Г-6	9,2	0,4	0,4	55	10	25	-	16	2,133	0,86
Г-7	9,2	0,4	0,4	50	15	25	-	15	2,163	1,01
Г-8	9,2	0,4	0,4	65	0	12,5	12,5	17	2,095	1,0
Г-9	9,2	0,4	0,4	60	5	12,5	12,5	16	2,130	0,84
Г-10	9,2	0,4	0,4	55	10	12,5	12,5	15	2,152	0,84
Г-11	9,2	0,4	0,4	50	15	12,5	12,5	14	2,142	0,76

Отримані результати засвідчують, що червоний шлам у поєднанні з шлаколузним цементом утворює водостійкий камінь. Завдяки високій дисперсності червоного шламу відбувається окрім фізичного закріплення його частинок у складі зміцненого ґрунту ще й хімічна взаємодія з лужним цементом та синтезу ряду новоутворень [7]. Використання, як компонентів зміцненого ґрунту гранітного відсіву і піску підвищує міцнісні характеристики штучного каменю. Введення частини ґрунту до 30% збільшує середню густину зразків, що забезпечує більш щільну структуру та впливає на пластичність сировинної маси перед пресуванням. Слід зазначити, що отримані зразки мають високий коефіцієнт розм'якшення (>1). Це свідчить про те, що насичення зразків водою поглиблює процеси гідратації, що протікають в штучному камені. В результаті досліджень було встановлено, що при зменшенні до 60% вмісту червоного шламу у складі зміцненого ґрунту міцність сягає більше 5 МПа (рис. 3). Але навіть високий вміст червоного шламу (до 80%) дозволяє нам використовувати отримані ґрунти для нижніх шарів дорожнього полотна (табл. 3). Згідно встановлених вимог (СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.1.1.01-2013) міцність зміцнених ґрунтів з використанням мінеральних в'язучих речовин має становити не менше 1,0 МПа.

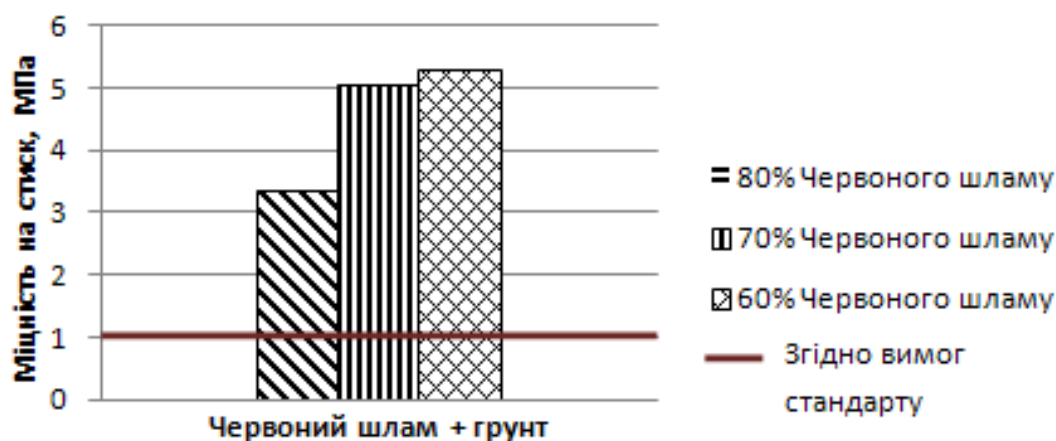


Рис. 3. Вплив вмісту червоного шламу на міцнісні характеристики зміцненого ґрунту

Використання гранітного відсіву і природного піску у складі зміцненого ґрунту дозволяє значно підвищити міцність (рис. 4), проте виникає необхідність введення додаткової частини ґрунту для підвищення середньої густини зміцнених ґрунтів. Завдяки цьому збільшується водостійкість штучного каменю та ущільнення його структури.

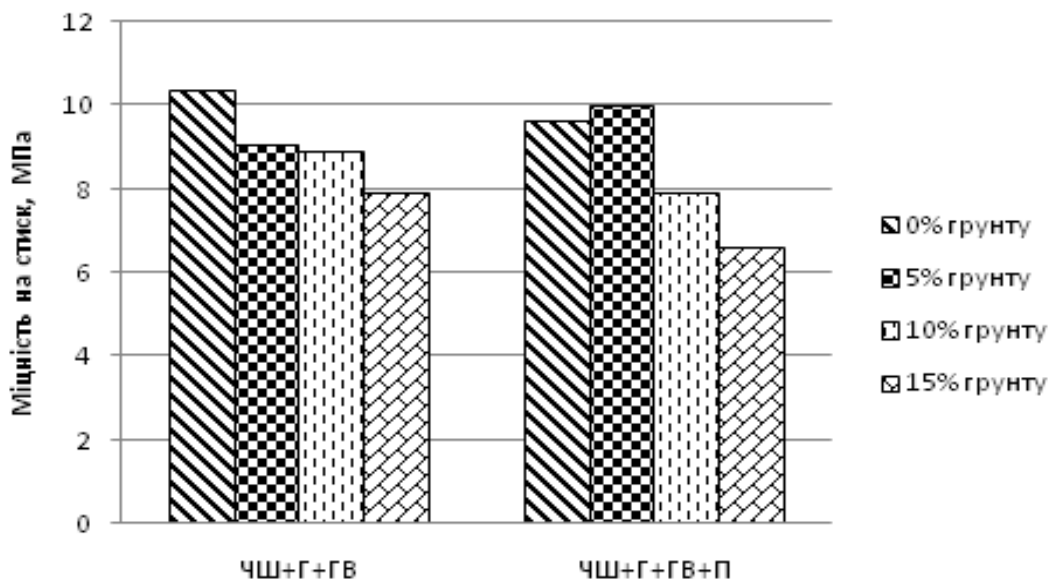


Рис. 4. Залежність міцності штучного каменю від кількості додатково введеного ґрунту

Висока активність шлаколузних цементів дозволяє вводити в склад готових бетонних виробів, що виготовляються методом напівсухого пресування до 80 % червоного шламу. Активність природних радіонуклідів використаних шлаків становить 599 Бк/кг, а червоного шламу - 450 Бк/кг, тому активність ПРН готового виробу буде складати близько 480 Бк/кг [8]. Згідно отриманих результатів та вимог нормативних документів ($A_{\text{еф}}$ до 740 Бк/кг – для будівництва доріг без обмежень) розроблені зміцнені ґрунти можливо використовувати для будівництва всіх типів доріг.

Висновки. Запропонована концепція використання шлаколузного цементу дозволяє значно підвищити вміст червоного шламу (до 80% від загальної маси) у складі зміцненого ґрунту для нижніх шарів дорожнього полотна. Високі показники коефіцієнта розм'якшення (від 0,76 до 6,0) свідчать про водостійкість штучного каменю, а міцність на стиск якого складає від 5 до 11 МПа, що відповідає встановленим вимогам стандартів та враховуючи активність природних радіонуклідів поширює сферу можливого використання на різні типи автомобільних доріг.

Література

1. Юшков Б.С. Укрепление переувлажненных грунтов известью в дорожном строительстве / Б.С. Юшков, Е.В. Калинина, И.Ю. Мальцев. // Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 2. – С. 29-34.
2. Зубова О. В. Исследование влияния гранулометрического состава грунтов на прочность зологрунтовой смеси, обработанной цементом / О. В. Зубова. // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2012. – № 2. – С. 17-24.
3. Очеретний В.П. Дрібноштучні стінові матеріали з використанням відходів промисловості / В.П. Очеретний, В.П. Ковальський. // Вісник ВПІ. – 2005. – № 1 – С.16-21.
4. Методические рекомендации по укреплению грунтов и других материалов медленнотвердеющими вяжущими при пониженных положительных и отрицательных

- температурах / Б.В. Белоусов, В.М. Бескровный, Б.А. Асматулаев, М.Г. Мельникова. – М. Союздорнии, 1985. – 35 с.
5. Глуховский В.Д. Грунтосиликаты. / В.Д. Глуховский. – Киев: Госстройиздат СССР, 1959. – 180 с.
6. Ковальчук О.Ю. Розробка складів лужних цементів загально будівельного призначення з використанням червоного шламу / О.Ю. Ковальчук, А.В. Пасько, В.Є. Фіалка. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне. –2015. – Вип. 31. – С. 266-272.
7. Rostovskaya Galina S. Alkaline Binders Based On Bauxite Red Sludges / Galina S. Rostovskaya // Alkaline Cements and Concretes. – Kyiv. – 1994. – Vol. 1. – PP. 329-346.
8. Лемешев М.С.. Дрібнозернистий бетон з модифікованим заповнювачем техногенного походження / М.С. Лемешев, О.В. Христин, О. В. Березюк. // Materiały XI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy – 2015». – Przemyśl (Poland): Nauka i studia. – 2015. – PP. 56-58.