

УДК 624.016.7

**ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ЧИННИКІВ ЧАСУ ТА ВМІСТУ  
ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ НА МІЦНІСТЬ ЗРАЗКІВ  
ГРУНТОЦЕМЕНТУ**

**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВРЕМЕНИ И СОДЕРЖАНИЯ  
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ПРОЧНОСТЬ ОБРАЗЦОВ  
ГРУНТОЦЕМЕНТА**

**CONSIDERING THE INFLUENCE FACTORS OF TIME AND CONTENT  
OF ORGANIC SUBSTANCE FOR STRENGTH OF SOILCEMENT  
SAMPLES**

**Ярмолюк О.І., аспірант, (Луцький національний технічний університет)**

**Ярмолюк А.И., аспирант, (Луцкий национальный технический университет)**

**Iarmoliuk O.I., postgraduate student, (Lutsk National Technical University)**

**Подано результати досліджень впливу чинників часу і вмісту органічної речовини на міцність ґрунтоцементних елементів, виготовлених у лабораторних умовах. Обґрунтовано можливість зміцнення заторфованих ґрунтів ґрунтоцементними елементами.**

**Приведены результаты исследования влияния факторов времени и содержания органических веществ на прочность ґрунтоцементных элементов, изготовленных в лаборатории. Обоснована возможность упрочнения заторфованных ґрунтов ґрунтоцементными элементами.**

**The results of investigations of influences factors of time and containing organic matter to strength of soil-cement elements made in laboratory conditions are presented. The possibility of hardening the soils containing peat by soil cement elements was substantiated.**

**Ключові слова:**

Армування, ґрунтоцемент, органічна речовина, призмova міцність.

Армирование, ґрунтоцемент, органическое вещество, призмennaя прочность.

Reinforcement, soil-cement, organic matter, compression strength.

**Вступ.** Актуальною проблемою будівництва є покращення геотехнічних властивостей ґрунтів майданчиків зі складними інженерно-геологічними умовами, до яких відносять зсувонебезпечні схили, ділянки з високим рівнем ґрунтових вод, слабкі шари. Серед ефективних рішень цієї проблеми – метод армування масивів ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ) [1-9]. Він є відносно

новим у геотехніці. Накопичено позитивний досвід використання даного методу за струминно-змішувальною та бурозмішувальною технологіями у центральній частині України. Ці технології, застосовують для поліпшення властивостей лесових просадочних ґрунтів під фундаменти будівель і споруд, закріплення зсувонебезпечних схилів, улаштування протифільтраційних завіс, закріплення стінок котлованів тощо.

**Аналізуючи останні дослідження** різних аспектів армування слабких основ за ґрунтоцементним методом, можна зробити узагальнення, що ефективність його використання полягає в підвищенні усередненого модуля деформації закріпленої основи, зниженні нерівномірності осідань основи та загальному зменшенні деформацій за рахунок перерозподілу напружень на значно більші об'єми масиву. Це підтверджують: 1) лабораторні дослідження як самого ґрунтоцементного матеріалу [1-3, 8], так і штапові випробування закріплених ґрунтів у лотку; 2) моделюванням розподілу напружень і осідань з допомогою спеціалізованого програмного забезпечення [2, 5]; 3) досвідом спостережень за осіданнями та деформаціями зведених об'єктів [1, 2, 4].

Як показали дослідження [7, 8], між бетоном і ґрунтоцементом можна провести ряд паралелей. Зокрема, відзначено, що ґрунтоцемент як і бетон схильний до довготривалого набирання міцності особливо в умовах високої вологості оточуючого середовища. Аналогічно бетону міцність ґрунтоцементу залежить і від вмісту цементу та якості заповнювачів (у випадку ґрунтоцементу – від фізико-механічних властивостей ґрунту).

**Не вивченим**, між тим, залишалось питання можливості та ефективності застосування методу цементування основ, складених заторфованими ґрунтами (при відносному вмісті органічних речовин  $10\% < I_R < 50\%$ ) і торфами ( $I_R > 50\%$ ). Оскільки ґрунтоцементні елементи в заторфованих основах і торфах не виготовлялися, то з огляду на їх ефективність в інших ґрунтових умовах, постала потреба ретельного дослідження можливості поширення методу і в цьому напрямку [10].

**Метою роботи** є перевірка доцільності застосування методу цементації до заторфованих ґрунтів шляхом дослідження впливу факторів часу та вмісту органічної речовини на міцність ґрунтоцементних елементів, виготовлених у лабораторних умовах.

**Методика досліджень.** Відповідно до цієї мети є ряд питань стосовно:

- ефективності використання ґрунтоцементу в заторфованих ґрунтах;
- характеристик ґрунтоцементного матеріалу, умов його приготування та особливостей руйнування при роботі як на стиск, так і на зріз;
- впливу вмісту цементу (в досліді прийнято до 35%), органічної речовини (в досліді – до 50%) та її якісного стану, часу (в досліді – до 2 років) і умов тужавіння на механічні властивості ґрунтоцементу.

Для досліді з характерних будівельних майданчиків м. Луцьку відібрані ґрунти з наступними властивостями: 1) суглинок від м'якопластичного до текучепластичного з вмістом органічних речовин (гумусу)  $I_R$  до  $8\div 13\%$ ; вологість  $W=0,30$ ; щільність  $\rho=1,83$  г/см<sup>3</sup>; щільність скелету ґрунту

$\rho_d=0,99 \text{ г/см}^3$ ; пористість  $n=46\%$ ; коефіцієнт пористості  $e=0,85$ ; коефіцієнт водонасичення  $S_r=0,91$ ; число пластичності  $I_p=0,15$ ; показник текучості  $I_L=0,64$ ; питома вага ґрунту  $\gamma_2=18,0 \text{ кН/м}^3$ ; його питоме зчеплення  $c_2=14 \text{ кПа}$ ; кут внутрішнього тертя  $\varphi_2=13^\circ$ ; модуль деформації  $E=4,3 \text{ МПа}$ ; 2) суглинок заторфований з  $I_R$  до  $34,6\div 37,3\%$ ;  $\rho=1,78 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_d=0,68 \text{ г/см}^3$ ;  $n=61,1\%$ ;  $e=1,57$ ;  $S_r=0,95$ ;  $E=1,1 \text{ МПа}$ ; 3) суглинок заторфований з  $I_R$  до  $54,2\div 56,7\%$ ;  $\rho=1,86 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_d=0,56 \text{ г/см}^3$ ;  $n=69,9\%$ ;  $e=2,32$ ;  $S_r=1,00$ ;  $E=0,6\div 0,9 \text{ МПа}$ .

Для підбору оптимального складу ґрунтоцементу змінними параметрами досліду прийнято витрата цементу та вміст органічної речовини в ґрунті, а критерієм експерименту – міцність ґрунтоцементу на стиск (призмova міцність). Планом експерименту визначено, що вміст органічної речовини для чотирьох різних складів повинен становити відповідно 10, 25, 40 і 50% від загальної маси сухого ґрунту. Суміші ґрунту відповідних складів були приготовані змішуванням між собою наведених вище ґрунтів у попередньо розрахованих пропорціях. В якості в'язучого для виготовлення зразків використано портландцемент марки 400. Вміст цементу в різних ґрунтоцементних сумішах складав 15, 22, 29 і 35%. Диференціація у кількості цементу проведена для визначення особливостей зростання міцності матеріалу та оптимізації вихідних складових суміші.

ґрунтоцемент укладався в циліндричні форми діаметром і висотою 36 мм. Через одну-дві доби після формування, коли його міцність уже забезпечувала збереження геометричних розмірів, зразки виймалися з форм й укладались на зберігання. Половину всіх зразків витримували у вологому середовищі ексикатора (на графіках їх параметри нанесені суцільними лініями), а іншу половину – у воді (їх параметри нанесені пунктирними лініями). Як торфи, так і заторфовані ґрунти в природі є переважно водонасиченими. Тому обидва режими зберігання ґрунтоцементу є доцільними.

**Результати досліджень.** Встановлено, що характерною особливістю виготовлення ґрунтоцементу із заторфованого ґрунту є те, що зі збільшенням вмісту органіки у ньому значно зростає вологість суміші, бо як розкладені, так і нерозкладені органічні включення мають властивість активно вбирати воду. Тому при тужавінні зразки, що витримували у вологому середовищі, зазнали усадку. Отже, вологість ґрунтоцементу й усадка становлять: при 10% органіки –  $46\div 51\%$  вологість суміші та  $0,4 \text{ мм}$  усадки; при 25% органіки –  $64\div 70\%$  і  $1\div 1,5 \text{ мм}$  відповідно; при 40% органіки –  $73\div 85\%$  і  $1,9\div 2,3 \text{ мм}$  відповідно; для 50% органіки –  $94\div 109\%$  і  $2,5\div 2,7 \text{ мм}$  відповідно.

У табл. 1 вміщено дані лабораторних досліджень міцності ґрунтоцементу при осьовому стиску (призмової міцності),  $\sigma_n$ , при змінних параметрах вмісту цементу, органічної речовини, часу та умов зберігання. За даними табл. 1 побудовано 12 груп графіків (чотири з яких наведено на рис. 1 – 4), які наочно виділяють характерні особливості, закономірності та суперечливі моменти у коливаннях  $\sigma_n$  при зміні перерахованих вище параметрів.

Таблиця 1

Дані лабораторних досліджень призмової міцності ґрунтоцементу

Вміст органіки	Середов. зберіг.	Вміст цементу	Міцність ґрунтоц. при осьовому стиску, $\sigma_n$ , МПа				
			10 діб	28 діб	90 діб	1-рік	2-роки
10%	в ексикаторі	15% цем.	0,638	0,811	1,098	1,173	1,188
		22% цем.	0,76	1,101	1,384	1,495	1,526
		29% цем.	0,954	1,221	1,656	1,945	1,978
		35% цем.	1,252	1,703	1,968	2,184	2,226
	у воді	15% цем.	0,608	0,769	0,956	1,052	1,132
		22% цем.	0,713	1,096	1,131	1,289	1,359
		29% цем.	0,895	1,33	2,027	2,127	2,223
		35% цем.	1,182	1,759	2,44	2,582	2,640
25%	в ексикаторі	15% цем.	0,751	0,857	1,062	1,147	1,165
		22% цем.	0,878	1,021	1,168	1,250	1,274
		29% цем.	0,921	1,206	1,455	1,601	1,639
		35% цем.	1,136	1,295	1,693	1,896	1,938
	у воді	15% цем.	0,612	0,718	0,921	1,004	1,066
		22% цем.	0,728	0,957	1,131	1,221	1,355
		29% цем.	0,825	1,118	1,356	1,519	1,651
		35% цем.	1,013	1,294	1,492	1,641	1,791
40%	в ексикаторі	15% цем.	0,581	0,704	0,849	0,925	0,936
		22% цем.	0,667	0,755	0,915	1,016	1,030
		29% цем.	0,713	0,838	1,041	1,124	1,139
		35% цем.	0,754	0,878	1,111	1,222	1,245
	у воді	15% цем.	0,482	0,507	0,66	0,706	0,736
		22% цем.	0,601	0,656	0,821	0,895	0,936
		29% цем.	0,632	0,742	0,919	1,002	1,054
		35% цем.	0,675	0,776	0,972	1,069	1,138
50%	в ексикаторі	15% цем.	0,645	0,719	0,928	1,002	1,013
		22% цем.	0,695	0,715	0,953	1,020	1,029
		29% цем.	0,698	0,718	0,935	1,019	1,032
		35% цем.	0,711	0,74	0,94	0,996	1,011
	у воді	15% цем.	0,393	0,461	0,632	0,683	0,728
		22% цем.	0,489	0,563	0,715	0,772	0,827
		29% цем.	0,573	0,657	0,827	0,885	0,957
		35% цем.	0,627	0,685	0,85	0,927	1,004

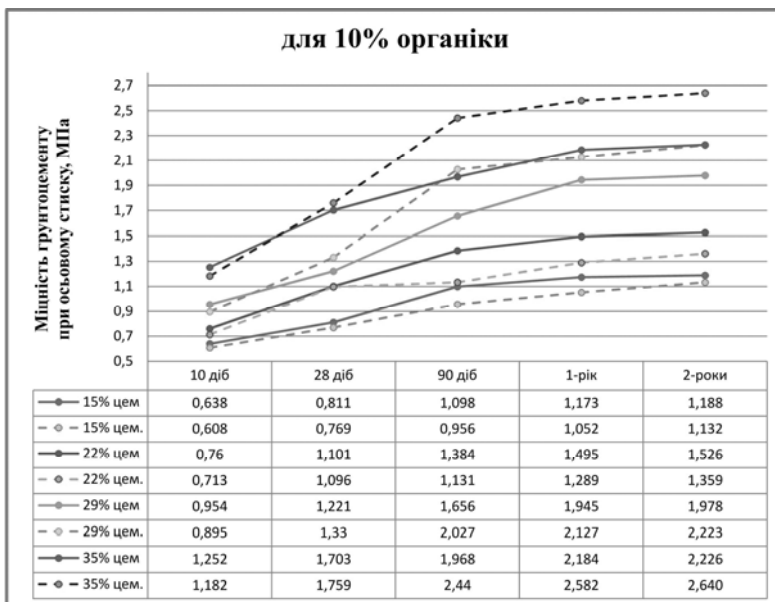


Рис. 1. Графіки залежності міцності ґрунтоцементу від часу тужавіння для різних вмістів цементу при 10%-х органіки

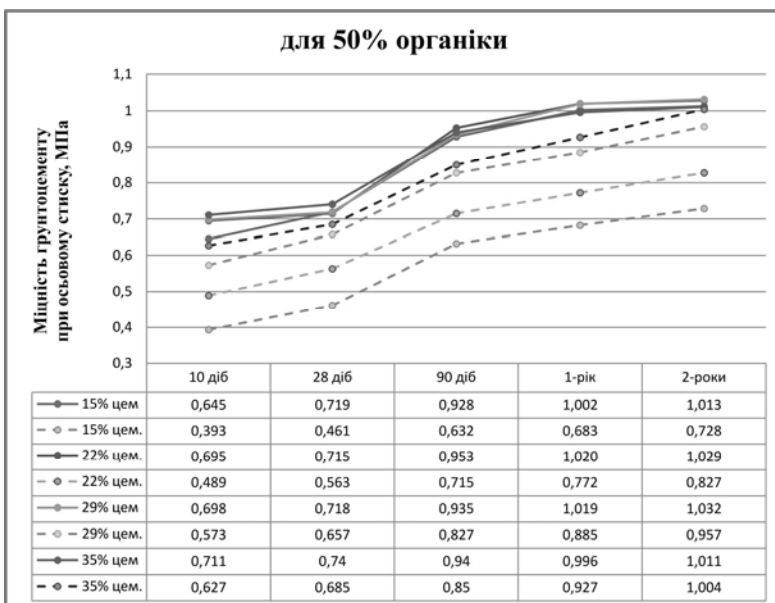


Рис. 2. Графіки залежності міцності ґрунтоцементу від часу тужавіння для різних вмістів цементу при 50%-х органіки

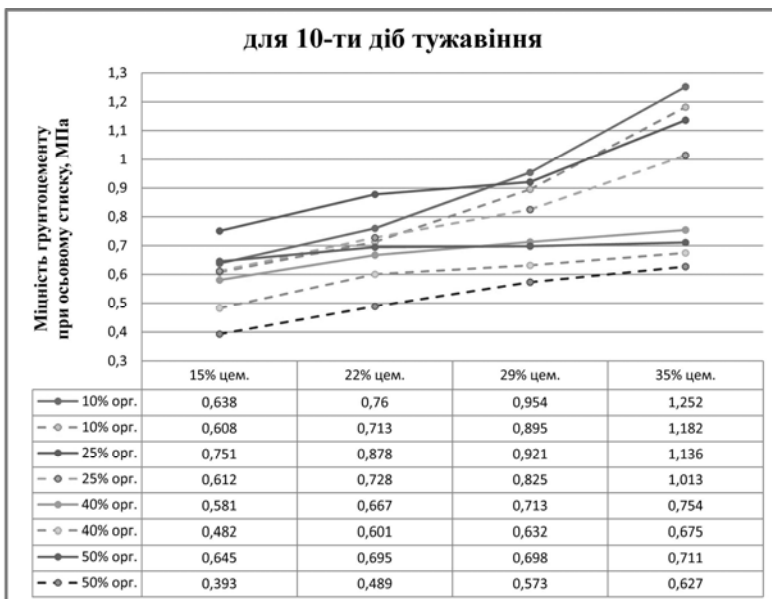


Рис. 3. Графіки залежності міцності ґрунтоцементу від вмісту цементу при різних вмістах органіки для 10-ти днів тижавіння

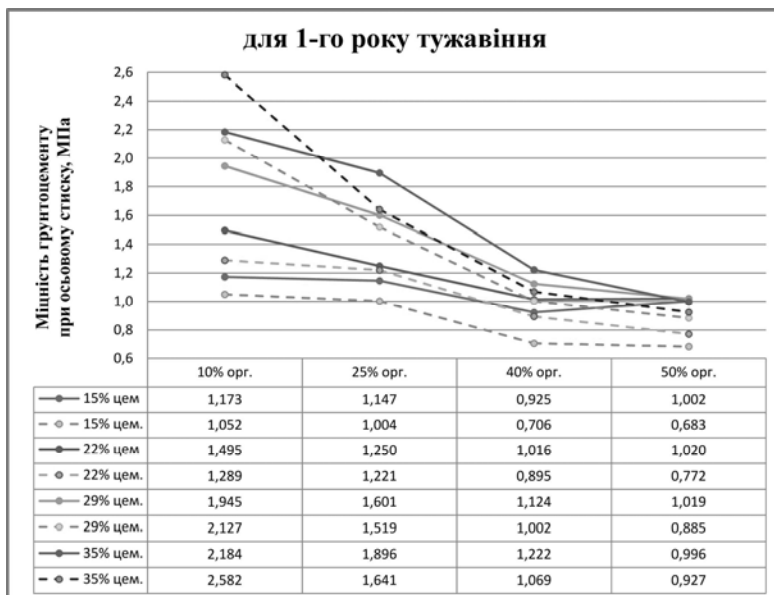


Рис. 4. Графіки залежності міцності ґрунтоцементу від вмісту цементу при різних вмістах органіки для одного року тижавіння

I – при низьких вмістах органіки та високих вмістах цементу міцність дослідних зразків (ДЗ), що витримувались у воді перевищує міцність тих, що були в ексикаторі (рис. 1 та рис. 3). Поясненням цьому явищу, швидше всього, у нестачі води, внаслідок чого в процесі гідратації бере участь не увесь цементний клінкер;

II – міцність ДЗ з незначним вмістом органіки з часом зростає на 85÷100% у той час, а за аналогічних умов міцність зразків із вмістом органіки у 50% зростає лише на 40÷55% (рис. 1 та рис. 2);

III – цікавим ефектом досліду стало руйнування „із середини” трьох зразків замісу №13, що зберігались у воді. Ці ДЗ виготовлені з ґрунту із найвищим вмістом органіки й найменшим цементу.

Внаслідок набухання органіки нові зв'язки, утворені в процесі кристалізації цементу, виявились нездатними витримати внутрішні напруження, викликані об'ємним збільшенням окремих складових ґрунтоцементу. Загалом міцність ДЗ з високим вмістом органіки, які зберігались у воді також значно менша від тих які зберігались в ексикаторі, особливо при малому вмісті цементу (рис. 2);

IV – у початковий період тужавіння (рис. 3) міцність ДЗ з незначним вмістом цементу (а саме 15 та 22%) при вмісті органіки у 25% більша від міцності зразків, у яких органіки було лише 10% від загальної маси. Причиною цього є те, що на початкових стадіях органічні зв'язки між органічними включеннями та іншими елементами цього композитного матеріалу відновлюються швидше, ніж утворюються нові колоїдні зв'язки внаслідок кристалізації цементного молока;

V – міцність ґрунтоцементу з високим вмістом органіки майже не залежить від вмісту в ньому цементу (для 40% органіки) і взагалі не змінюється при вмісті органічних включень у 50% для всіх термінів зберігання (рис. 3 та рис. 4);

VI – міцність ґрунтоцементних елементів з вмістом органіки у 50% перевищувала міцність тих же елементів з вмістом органіки у 40% при малих вмістах цементу на усіх етапах випробувань (у віці 10, 28 і 90-та діб й через один рік). Цей ефект є дещо суперечливим, проте лише на перший погляд. По-перше – це перевищення склало усього лише від 0,015 до 0,079 МПа, а по-друге – ґрунтоцемент з вищим вмістом органіки містив більшу кількість органічних решток у вигляді нерозкладених волокон, що і відіграло при цьому вирішальну роль;

VII – ґрунтоцемент активно набирає міцність упродовж перших трьох місяців тужавіння, після чого тенденція до зростання міцності затухає;

VIII – за період між першим і другим роками зберігання міцність ґрунтоцементних зразків загалом зростала досить низькими темпами, зокрема міцність зразків з ексикатора підвищувалася в середньому лише на 1÷2 %, в той час, коли зразки з вологого середовища додали від 5 до 10%. Встановлено також, що серед зразків з вологого середовища найкращу інтенсивність зміцнення мали ті ДЗ, відсоток заторфованості яких становив

25, а найгіршу – 40% вмісту органічних речовин (обґрунтування ефекту аналогічне пункту VI).

**Висновки.** Таким чином, лабораторні дослідження демонструють якісний бік підвищення міцності слабких заторфованих основ при їх армуванні ґрунтоцементними елементами. Використання методу цементації ґрунту з підвищеним вмістом органічних домішок у ньому може мати місце на практиці при найбільшій ефективності за відносного вмісту органічної речовини, що не перевищує 0,30.

При перевищенні цього рівня використання методу може виявитись економічно не доцільним. До того ж, за низького рівня ґрунтових вод ґрунтоцемент у сильнозаторфованих масивах даватиме значні усадки, що знижує механічні властивості самого матеріалу й ефект спільної роботи основи та армуючих елементів.

1. Zotsenko M. Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method / M. Zotsenko I, Yu. Vynnykov, I. Lartseva, V. Shokarev, V. Krysan // Proc. of the 15th European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. – Athens, 2011 – P. 1097– 1102.
2. Зоценко, М.Л. Ґрунтоцементні основи та фундаменти / М.Л. Зоценко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво). – Вип. 75: В 2-х кн.: Кн. 1. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 447 – 456.
3. Ларцева, І.І. До визначення фізико-механічних характеристик ґрунтоцементу / І.І. Ларцева, М.В. Петруняк // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)/ Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 2 (27). – Полтава: ПНТУ, 2010. – С. 127 – 134.
4. Опыт закрепления ґрунтов цементоґрунтовыми элементами / Б.Н. Исаев, С.Ю. Бадеев, А.Г. Лунев // Основания, фундаменти и механика ґрунтов. – 2010. – №5. – С. 29 – 32.
5. Крисан, В.І. Дослідження напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, армованого ґрунтоцементними елементами, що виготовлені по струминно-змішувальній методиці: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: 05.23.02 / В.І. Крисан. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 18 с.
6. Михальський, Т. Применение технологи jet grouting в целях обеспечения устойчивости стен глубоких котлованов / Т. Михальський // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. – Вип. 66 – К. : НДІБК, 2007. – С. 168 – 173.
7. Безрук, В.М. Теоретические основы укрепления ґрунтов цементами / В.М. Безрук. – М.: НТИ автотрансп. л-ры, 1956. – 248 с.
8. Мангушев, Р.А. Прочностные характеристики ґрунтобетона, выполненного по технологии jet grouting в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга / Р.А. Мангушев, В.В. Конюшков, В.Э. Гувовский // Сб. тр. научн.-техн. конф. «Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции». – СПб.: СПбГАСУ. – 2010. – С. 361 – 368.
9. Винников, Ю.Л. Будівельні властивості ґрунтоцементу за наявності у його складі органічних речовин / Ю.Л. Винников, О.І. Ярмолюк // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вип. 56. – Дн-вск.: ПГАСА, 2010. – С. 97 – 103.
10. Ярмолюк О.І. Руїнування історичної забудови Луцька на заторфованих ґрунтах / О.І. Ярмолюк // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)/ Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 3 (28). – Полтава: ПНТУ, 2010. – С. 322 – 329.