

Выводы

1. Установлены основные показатели, влияющие на эффективность работ по демонтажу строительных конструкций.

2. Принятие решений по демонтажу строительных конструкций должно в каждом конкретном случае учитывать не только их состояние, но и условия работ, характеризующиеся рассмотренными показателями.

3. Фактические значения приведенных показателей могут быть использованы для разработки многофакторных моделей, разрабатываемых для оптимизации технологического процесса демонтажа конструкций.

1. Гончаренко Д.Ф., Избаш М.Ю., Константинов А.С., Зубко Г.Г. Организационно-технологические решения по ликвидации последствий разрушения реконструируемого здания // 36.наук праць. – Нац. університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2011. – С. 567-575.

2. Константинов А.С. Технология демонтажных работ при восстановлении разрушенного в результате взрыва крупнопанельного жилого дома // Науковий вісник будівництва. – ХДТУБА, ХОТВ АБУ № 71, 2013. – С. 24-29.

3. Гончаренко Д.Ф., Константинов А.С., Зубко Г.Г. Технология демонтажа осветительных опор при реконструкции стадиона // Науковий вісник будівництва. – ХДТУБА, ХОТВ АБУ № 66, 2011. – С. 133-137.

4. Гончаренко Д.Ф., Савйовский В.В., Твердоступ П.Б. Крупноблочный демонтаж железобетонных конструкций // Энергетическое строительство, 1989. – №6. – С. 17-21.

5. Гончаренко Д.Ф., Зубко Г.Г., Константинов А.С. Учет состояния конструкций трибун стадиона при принятии решений по его реконструкции // Науково-техн. збірник. Комунальне господарство міст. Вип. 99. – ХНАМГ, 2011. – С. 410-424.

6. Савйовский В.В., Самохвалов В.С. Демонтаж газоочистной трубы в стесненных условиях // Будівництво України. – 1995. – №1. – С. 18-19.

7. Гончаренко Д.Ф., Твердоступ П.Б., Панченко В.А. Демонтажная технологичность стыковых соединений строительных конструкций при проведении работ по реконструкции // Промышленное строительство, №10, 1989. – С. 14-16.

*Получено 21.01.2013*

УДК 69.059

Д.О.ХОХЛІН, канд. техн. наук

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ  
КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД В УМОВАХ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ ЗА  
НАЯВНОСТІ ЧИННИКІВ ЗНАЧНИХ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ  
ОСНОВИ**

Розглядаються основні принципи підвищення ефективності підсилення будівельних конструкцій і споруд в умовах сейсмонебезпеки та складних інженерно-геологічних умов, а також наведений приклад дослідження техніко-економічної ефективності підсилення цегляних стін в умовах просідаючих ґрунтів сейсмонебезпечних територій.

Рассматриваются основные принципы повышения эффективности усиления строительных конструкций и сооружений в условиях сейсмоопасности и сложных инженерно-геологических условий, а также приведен пример исследования технико-экономической эффективности усиления кирпичных стен в условиях просадочных грунтов сейсмоопасных территорий.

The article deals with the basic principles of efficiency of strengthening of building structures and buildings in earthquake-prone and difficult geological conditions, as well as an example of research of technical and economic efficiency of strengthening of brick walls in the conditions of sedimentary rocks seismic regions.

*Ключові слова:* ефективність, підсилення, сейсміка, нерівномірні деформації, основа.

Актуальність питань забезпечення надійності будівельних об'єктів на майданчиках, де поєднуються сейсмонезбезпека та чинники, які можуть призвести до значних нерівномірних деформацій основ будівель полягає в широкій розповсюженості та подальших нормативних і фактичних розширень таких умов на території України. Особливо проблемною є наявність великого обсягу застарілого фонду нерухомості, який поєднує фізичну зношеність, незадовільний технічний стан і недостатню пристосованість до сприйняття дії можливих складних впливів та, особливо, їх поєднання, зокрема сейсміки та чинників значних нерівномірних деформацій різної природи.

Питання підсилення конструкцій та споруд в складних умовах в цілому досліджують постійно (з перемінним успіхом) у загальному потоці розвитку будівельної науки. Запропоновано, відомо та використовують значну кількість методів і способів підсилення конструкцій і будівель з різними особливостями та конструктивними рішеннями. В таких умовах різноманіття можливих рішень завжди актуальною задачею досліджень у даному напрямі є забезпечення достатньої ефективності підсилень як з точки зору мінімально допустимої надійності, так й максимального обмеження прямих і майбутніх витрат та супутніх проблем, наприклад, припинення експлуатації.

При підсиленні споруд в різних складних умовах до відповідних рішень з підвищення їх надійності застосовують додаткові вимоги, які враховують особливості складних впливів.

Щодо підсилення в умовах сейсмонезбезпеки та складних інженерно-геологічних умов, які викликають значні нерівномірні деформації основи, можна виділити наступні основні принципи та особливості, які дозволяють підвищити ефективність таких заходів [1-5] та ін.:

- важливим є контроль і обмеження ваги елементів підсилення, яка не повинна ставати значною у порівнянні з підсилюваними конструкціями, що може призвести до суттєвого збільшення сейсмічних навантажень і розвитку додаткових нерівномірних деформацій основи;

- підсилення конструкцій не повинно викликати суттєвого порушення симетричності та регулярності розподілення у плані та по висоті будівлі жорсткостей і мас, що особливо актуально з точки зору сприйняття сейсмічних навантажень;

- наявність додаткових вимог до забезпечення надійного з'єднання елементів підсилення та існуючих конструкцій в умовах можливих динамічних впливів і складного напружено-деформованого стану при великих нерівномірних деформаціях основи;

- наявність додаткових вимог до загальної жорсткості та монолітності будівлі;

- необхідність врахування можливості поєднання навантажень від сейсміки та значних нерівномірних деформацій з різною послідовністю їх прикладання, в т.ч. врахування впливу послаблення основи на динамічні характеристики будівлі.

При дотриманні наведених принципів залишається актуальним також питання вибору оптимальних рішень з підсилення різних конструктивних елементів споруди (стіни, простінки, колони, балки, перекриття тощо) з різних матеріалів з врахуванням особливостей їх напружено-деформованого стану при складних впливах.

Для прикладу дослідження техніко-економічної ефективності підсилення можуть бути розглянуті окремі способи підсилення цегляних стін в умовах просідаючих ґрунтів сейсмонебезпечних територій (необхідно відмітити, що дія просідання основи в цілому аналогічна дії більшості інших чинників значних нерівномірних деформацій основ). Як один з прогресивних, можливо виділити напрямок використання для підсилення сучасних композитних матеріалів на прикладі технологій концерну "Sika".

Для підсилення цегляних стін і простінків часто використовують сталеві конструкції підсилення (прокатну, листову сталь, сітки тощо) зі зварними або болтовими з'єднаннями. Для споруд у зазначених складних умовах використання сталевих елементів підсилення часто є більш прийнятним з врахуванням значно кращого співвідношення міцності та питомої ваги у порівнянні з тим же залізобетоном [6] (за одним із наведених вище принципів). При порівнянні властивостей металевих та, наприклад, вуглецевих (більш уживаних) композитних елементів підсилення останні мають суттєві переваги: значно менше відношення власної ваги до міцності, майже повна корозостійкість, відсутність обмежень по довжині, спрощений, більш дешевий і швидкий монтаж, більша втомна міцність. Недоліками можна вважати роботу тільки на розтяг, розподіл навантаження тільки уздовж волокон, необхідність термічного захисту та більшу вартість матеріалу. На рис. 1 наведені діаграми [7], що

ілюструють, в першу чергу, міцнісні переваги композитних матеріалів перед сталевими (а вуглецеві композити крім того мають більшу жорсткість).

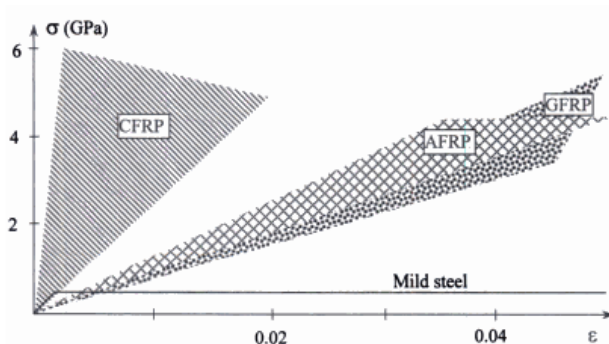


Рис. 1 – Діаграми напруження-деформації одновісного розтягу для різних типів композитних матеріалів та сталі (CFRP – з вуглецевими волокнами, AFRP – арамідними, GFRP – скляними)

Використовують кілька різновидів стрічок, які розрізняються за розмірами перерізу та модулем пружності (табл. 1). Основні механічні характеристики стрічок Sika CarboDur та полотен Sika Wrap представлені у табл. 2.

Таблиця 1 – Різновиди стрічок Sika CarboDur

<b>Sika CarboDur S (Модуль пружності E &gt;165000 МПа)</b>			
Тип	Ширина, мм	Товщина, мм	Площа перерізу, мм <sup>2</sup>
Sika CarboDur S512	50	1,2	60
Sika CarboDur S612	60	1,2	72
Sika CarboDur S812	80	1,2	96
Sika CarboDur S1012	100	1,2	120
Sika CarboDur S1212	120	1,2	144
Sika CarboDur S1512	150	1,2	180
Sika CarboDur S614	60	1,4	84
Sika CarboDur S914	90	1,4	126
Sika CarboDur S1214	120	1,4	168
<b>Sika CarboDur M (Модуль пружності E &gt;210000 МПа)</b>			
Sika CarboDur M614	60	1,4	84
Sika CarboDur M914	90	1,4	126
Sika CarboDur M1214	120	1,4	168
<b>Sika CarboDur H (Модуль пружності E &gt;300000 МПа)</b>			
Sika CarboDur H514	50	1,4	70

Можливі різні варіанти нанесення стрічок залежно від розмірів, форми та передбаченого напружено-деформованого стану стін або простінків (перехресне діагональне та (або) вертикально-горизонтальне, спіральне, комбіноване), полотна, в свою чергу, наклеюють по всій площині конструкції, що підсилюється (приклади на рис. 2). Необхідно відмітити, що при нанесенні підсилюючих стрічок можливе їх попереднє напруження. Така можливість за умови розрахункового обґрунтування може підвищувати ефективність підсилення, створюючи додатковий обтиск кладки. Додатковий обтиск зменшує або нейтралізує відповідні за напрямом розтягуючі зусилля та підвищує зчеплення елементів кладки (наприклад, збільшується міцність на зріз за неперев'язаними швами) [8].

Таблиця 2 – Основні механічні властивості стрічок Sika CarboDur та полотна Sika Wrap

Показник Різновид	Модуль лінійної пружності, ГПа	Міцність на розтяг, МПа	Середні напруження при відриві, МПа	Деформації при відриві, %
Стрічка Sika CarboDur S	>165	>2800	3050	>1,70
Стрічка Sika CarboDur M	>210	>2400	2900	>1,20
Стрічка Sika CarboDur H	>300	>1300	1450	>0,45
Полотно Sika Wrap 230 C	230	3500	230000	15,00

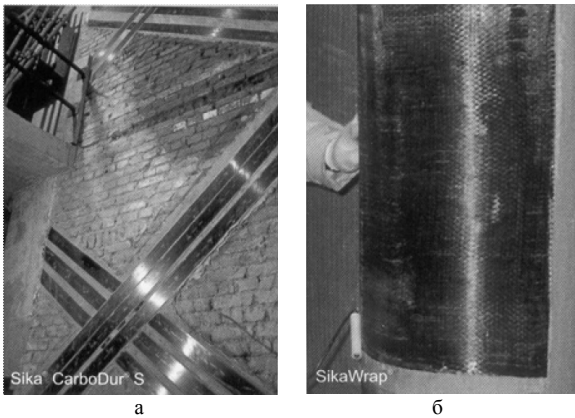


Рис. 2 – Приклади нанесення підсилюючих стрічок та полотна  
а – стрічок; б – полотна

Для розрахункового дослідження ефективності підсилення стінових конструкцій композитними матеріалами "Sika" було проведено моделювання в ПК «ЛИРА». Для цього була створена модель суцільної стінової панелі. Розрахунки виконували у нелінійній постановці, враховуючи те, що розглядувані композити працюють тільки на розтяг. При цьому враховували нелінійність деформування кладки.

Для порівняння побудовані плоскі моделі конструкцій без підсилення (рис. 3), з підсиленням композитними стрічками (рис. 4), полотном і сталевим прокатом (рис. 5).

Загальні характеристики моделей приведені в таблиці 3.

Для підсилення стіни композитами використані стрічки Sika CarbonDur S1012 і таке ж полотно (в 2 шари). За основу моделей з підсиленням сталевим прокатом для прикладу взяті детально описані способи для стін та простінків при дії сейсмічного навантаження, наведені у [3]. Для стіни обрано сталеву раму з перехресними зв'язками.

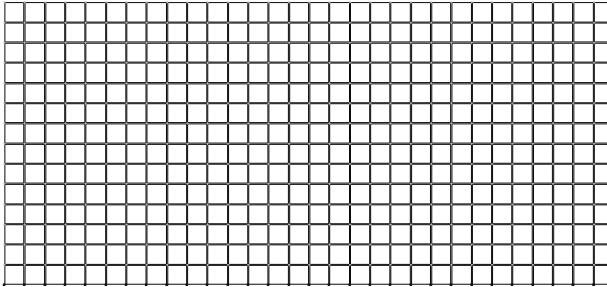


Рис. 3 – Модель стіни без підсилення

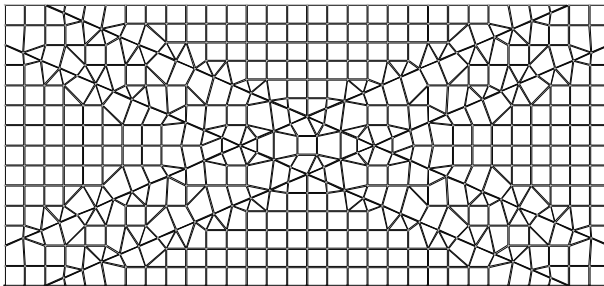


Рис. 4 – Модель стіни, підсиленої композитними стрічками

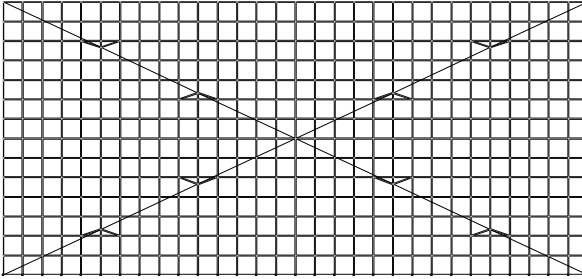


Рис. 5 – Моделі конструкцій, підсилені сталевим прокатом

Таблиця 3 – Основні параметри розрахункових моделей стінової панелі

Характеристика		Значення
Загальні розміри		2,8x6,0 м, товщина СЕ 0,51 м
Основний розмір скінчених елементів		0,2x0,2 м
Фіксація переміщень нижнього ряду вузлів		по X, Y, UZ
Навантаження	Вертикальне та горизонтальне	Власна вага, вертикальне – 60 т (по 2,0 т на середні та 1,0 т на крайні верхні вузли), горизонтальне – 39 т (по 1,30 т на середні та 0,65 т на крайні верхні вузли)

Перерізи прокату визначені з врахуванням приблизної рівності вартісних показників витрати матеріалів на час дослідження з варіантом підсилення композитами. Обраховані загальні орієнтовні витрати композитних матеріалів склали для стінової панелі: Sika CarboDur S1012 – 56,9 м або Sika Wrap 230C – 67,2 м<sup>2</sup>; сталевому прокату: кутики 160x160x16.

Змодельовані конструкції навантажували вертикальним та горизонтальним навантаженнями (табл. 3). Величини навантажень обирали на основі недопущення виникнення суттєвого тріщиноутворення (максимум 1-2 СЕ з тріщинами в картині руйнування, отриманій при розрахунку у ПК) в стіні з причини неможливості на даному етапі моделювання при нелінійному розрахунку у ПК «ЛИРА» окремих особливостей руйнування кам'яної кладки. Враховано дію нерівномірної жорсткості основи зі зміною відповідних коефіцієнтів жорсткості основи стіни. Необхідно відмітити, що були перевірені (в т.ч. з використанням програми «ЛИР-СТК») міцність та стійкість всіх елементів підсилення, при цьому відсоток їх використання не перевищив для сталевому прокату 65% та 1% для композитів.

Для оцінки ефективності підсилення порівнювали узагальнені зусилля N, M, Q у горизонтальних перерізах кладки стіни, які проходять через центри вибірки СЕ.

Зусилля визначалися за формулами:

$$N = \sum_i A_i N_{yi}; \quad (1)$$

$$M = \sum_i A_i N_{yi} x_i; \quad (2)$$

$$Q = \sum_i A_i \tau_{xyi}, \quad (3)$$

де  $N_{yi}$  – нормальні напруження в СЕ у горизонтальній площині;  $A_i$  – площа горизонтальних перерізів СЕ;  $x_i$  – горизонтальні координати центрів СЕ відносно центру загального перерізу у горизонтальній площині;  $\tau_{xyi}$  – дотичні напруження в СЕ у горизонтальній площині.

У табл. 4 приведена вибірка напружень у СЕ розрахованих моделей стіни (з різними варіантами підсилення та без нього) та отримані відповідні зусилля у загальних горизонтальних перерізах. З таблиці 4 видно, що при приблизно однаковій вартості матеріалів підсилення зі сталевого прокату є суттєво більш ефективним порівняно з композитними матеріалами з точки зору розвантаження цегляних стін при дії сейсмічного навантаження та нерівномірної жорсткості (деформацій) основи.

Таблиця 4 – Зміна узагальнених зусиль при підсиленні стінової панелі з врахуванням нерівномірного деформування основи

Тип підсилення	Переріз	Зміна узагальненого зусилля, %					
		N		M		Q	
Композитні стрічки по діагоналі	Верхній	+0,15	+0,35	-2,06	-0,83	-1,65	-1,40
	Середній	-0,03		-1,06		-2,52	
	Нижній	+1,04		-0,56		-0,24	
Композитне полотно у 2 шари	Верхній	-0,05	+0,99	-0,18	-2,01	-0,00	-0,25
	Середній	+0,25		-0,96		+0,09	
	Нижній	+3,16		-2,86		-0,77	
Сталеve підсилення по контуру з перехресними зв'язками	Верхній	-16,93	-2,76	-49,57	-48,23	-36,81	-49,69
	Середній	-9,72		-70,12		-43,86	
	Нижній	+22,94		-34,18		-67,18	

Таким чином, на основі отриманих результатів можна зробити висновки про надмірно високу ціну композитних матеріалів на час проведення досліджень порівняно зі сталевими матеріалами. Крім того є необхідність в розробці більш ефективних форм використання композитних елементів у зазначених складних умовах, враховуючи значний потенціал даних матеріалів. Наприклад, це стосується можливості та доцільності використання більш складних комбінованих картин нанесення стрічок на стіни.



Важливо також нагадати, що якщо порівнювати підсилення конструкцій з використанням сталевих прокату на інших стандартних (в т.ч. за вартістю) матеріалів, наприклад, залізобетону, то сталеві матеріали мають значно краще співвідношення міцності та маси [6]. Ця властивість також зменшує масу елементів підсилення, що сприятливо впливає на сейсмічні навантаження.

Необхідно відмітити, що при підсиленні стін та простінків відбувається збільшення їх жорсткості. При цьому зменшується період коливань як конструкцій, так і будівлі в цілому. Це в свою чергу може призводити до підвищення спектрального коефіцієнту динамічності  $\beta$  та відповідно сейсмічного навантаження, що необхідно враховувати при розробці підсилення.

При визначенні конструктивних та інших заходів захисту існуючих будинків в умовах просідаючих ґрунтів сейсмонезбезпечних територій, як правило, необхідно вирішувати комплекс проблем (тріщиноутворення, крени, прогини та вигини будівель та їх відсіків тощо). Причому в процесі їх вирішення бажано забезпечити також й припинення розвитку вищенаведених дефектів у майбутньому шляхом повного або часткового підсилення системи основа-фундамент. Для вирішення усіх зазначених задач виникає потреба у розробленні комплексу заходів, які можуть включати не тільки конструктивні, а й, наприклад, вирівнювання надномативних кренів.

Одночасно з конструктивними та іншими заходами з відновлення та підсилення споруд в сейсмонезбезпечних умовах перспективними та ефективними можуть бути окремі методи активного сейсмосахисту та сейсмосахисного екранування, направлені на зменшення зусиль в конструкціях на час землетрусу (адаптивні системи, сейсмоізоляція надземної частини споруд, екранування основ і фундаментів, системи з підвищеним демпфуванням та гасниками коливань). Для їх використання можна виділити ряд складностей, пов'язаних з влаштуванням систем активного сейсмосахисту в існуючих будівлях у порівнянні з такими, що проектують, а також наявність ризику розвитку значних нерівномірних деформацій основи та споруди в цілому [5]. Достатньо реальною та дуже перспективною бачиться розробка методів сейсмосахисного екранування основ і фундаментів існуючих будівель, наприклад, шляхом влаштування екранів у вигляді стінок або траншей, які створюють перешкоду впливам хвильового типу та добре пристосовуються до їх стохастичного характеру [9].

На основі наведеного вище можна зробити наступні загальні висновки.

Особливості наявних складних умов накладають певні вимоги та

обмеження щодо розробки підсилення існуючих будівель і споруд. Актуальним є вироблення та впровадження відповідних загальних принципів підсилюючих заходів. Щодо підсилень будівель за одночасної наявності сейсмонебезпеки та чинників значних нерівномірних деформацій основи можна виділити наступні шляхи підвищення їх ефективності: максимальне наближення до дійсного напружено-деформованого стану споруди при її розрахунку на особливі сполучення навантажень, наприклад, врахування при розрахунках будівель можливості суміщення дії сейсмічних впливів та значних нерівномірних деформацій основи; дослідження оптимального співвідношення між міцністю, питомою вагою та ціною елементів підсилення з врахуванням їх конструктивних і технологічних особливостей; обмеження впливу підсилюючих заходів на симетричний та регулярний розподіл жорсткостей і мас у будівлі; розробка та впровадження для підвищення сейсмостійкості існуючих будівель систем активного сейсмозахисту, в т.ч. екранування їх основ і фундаментів, з врахуванням ризику розвитку значних нерівномірних деформацій основ.

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – Офіц. вид. – [На заміну СНиП II-7-81\*; Чинні від 2007-01-02]. – К.: Укрархбудінформ: Мінбуд України, 2006. – 82 с.

2. Будинки і споруди на підроблених територіях і просідаючих ґрунтах: ДБН В.1.1-5-2000. – Офіц. вид. – [На заміну СНиП 2.01.09-91; Чинні від 2000-07-01] – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 87 с.

3. Повышение сейсмостойкости зданий: Серия 0.00 – 2.96с. / Я.М. Айзенберг, С.И. Чигрин, А.В. Черкашин, С.А. Минаков. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1996. – Выпуск 0-1: Каменные и кирпичные здания. Материалы для проектирования. – 82 с.

4. Хохлін Д.О. Конструктивний захист житлових будинків масових серій, що експлуатуються в умовах просідаючих ґрунтів сейсмонебезпечних територій: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Хохлін Денис Олексійович. – К., 2009. – 204 с.

5. Хохлін Д.О. Особливості напружено-деформованого стану будівель при суміщенні сейсмічних впливів та значних нерівномірних деформацій основи // Будівельні конструкції. – К.: НДБК, 2012. – Вип. 76. – С. 269-277.

6. Бучок Ю.Ф. Будівельні конструкції: Основи розрахунку: Підручник / Бучок Ю.Ф. – К.: Вища шк., 1994. – 447 с.

7. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures: Technical report fib Bulletin No. 14. – Lausanne: FIB, 2001. – 138 p.

8. Сика Украина: Информационный диск 2005, вер. 5.0 / ООО «Сика Украина». – К.: Сика Украина, 2005. – 1 электронный опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium-266; 32 Mb RAM; CD-ROM; Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з титул. екрану.

9. Кранцфельд Я.Л. О перспективах сейсмозащитного экранирования грунтовых оснований зданий и сооружений // ОФМГ, №1-2012. – М.: НИИОСП, 2012. – С. 23-27.

*Отримано 25.01.2013*