

Предварительно напряженные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1978. 6. Тур В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Изд-во БПИ, 1997. – 276 с. 7. Протько Н.С. Свойства и особенности применения расширяющей добавки РСАМ в технологии бетона и растворов / Н.С. Протько // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5. – С. 123–130. 8. Рекомендации по проектированию составов бетонов с компенсированной усадкой или самоупрочнением. – Брест: БГТУ, 2005. – 13 с. 9. Design Guide for SHS Concrete-Filled Columns. – Corus Tubes, 2002. 10. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков // 2-е изд., перераб. и доп.– М., 1998.– 768 с. 11. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 215 с. 12. Тур В. В. Самонапряженный железобетон: исследование, опыт и перспективы применения / В.В. Тур // Строительная наука и техника. – 2005. – № 1. – С. 62–69. 13. G. Xu, Beaudion J.J. Effect of Polycarboxylate Superplasticizer on Contribution of Internal Transition Zone of Electrical Conductivity of Portland Cement Mortar.– ACI Material Journal, v. 97, N 4, 2000 – P. 418–424. 14. Калиновская Н.Н. Технологические свойства, прочность и эффективное применение бетона, модифицированного гиперпластификатором ГП-1 / Н.Н. Калиновская // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5. – С. 74–83. 15. СТБ (проект). Бетон на напрягающем цементе. Технические условия. 16. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 41 с. 17. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 7 с. 18. СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2005. – 17 с. 19. Пособие по проектированию самоупрочненных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции») / НИИЖБ Госстроя СССР и ЦНИИпромзданий Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 64 с. 20. СТБ 1335-2002. Цемент напрягающий. Технические условия. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2002. – 11 с.

УДК 621.658.58

Л.Я. Паращук, Я.Б. Якимечко, Б.С. Білобран*, Р.Я. Якимечко*.
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної технології силікатів,
*кафедра опору матеріалів

РОЗШИРНИЙ ДРІБНОЗЕРНИСТИЙ БЕТОН ДЛЯ РЕМОНТУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

© Паращук Л.Я., Якимечко Я.Б., Білобран Б.С., Якимечко Р.Я., 2010

Розроблено склад розширеного бетону для ремонту магістральних газопроводів. Як розширний компонент використано додаток негашеного вапна. Показано, що стиснуті умови твердіння змінюють мікроструктуру цементного каменю.

Ключові слова: розширення, самоупрочнення, трубопровід, портландит, негашене вапно.

Composition of expansion concrete is developed for repair of main gas pipelines. In quality a expansion component addition of quicklime is used. It is shown that the terms of hardening are compressed change the microstructure of cement a stone.

Keywords: expansion, selfextension, pipeline, portlandite, quicklime

Постановка проблеми. Для відновлення несучої здатності трубопроводів використовують різні методи ремонту, зокрема [1– 3]: заміну сильно пошкоджених ділянок новими вставками, накладання бандажів, приварних муфт без наповнювача і з наповнювачем, склопластикових

бандажів на синтетичній основі тощо. У багатьох випадках застосування цих способів не може бути економічно виправданим, оскільки вимагає вилучення з експлуатації на деякий час трубопроводу з його спорожненням чи зниження робочого тиску на час виконання ремонтних робіт. Не застосовують їх також для ремонту підводних переходів та ділянок трубопроводів, укладених у болотистій місцевості.

У зв'язку з цим виникає потреба створення та впровадження нових прогресивніших методів відновлення роботоздатності магістральних нафтогазопроводів.

Одним із ефективних способів ремонту пошкоджених ділянок є їх підсилення за допомогою бандажів на розширеному бетоні [4, 5]. Такий спосіб не потребує зупинення перекачування транспортованого продукту та звільнення від нього трубопроводу. Крім цього, застосування таких бандажів дає можливість не тільки надійно підсилювати дефектну зону, але також зменшувати у матеріалі труби рівень напружень від робочого тиску за рахунок обтискування трубопроводу ефектом розширення бетону під час твердіння.

Суть розробленого методу підсилення полягає в тому, що на дефектну ділянку трубопроводу концентрично накладається сталевий бандаж дещо більшого діаметра, що складається з двох напівциліндричних частин, закритих на кінцях кільцевими днищами. Міжтрубний простір між зовнішньою поверхнею основної труби і внутрішньою поверхнею бандажу заповнюється спеціальним цементним розчином, який під час твердіння розширяється. Утворена у результаті система труба-бетон-бандажу працює як тришаровий циліндр. Створювані внутрішнім тиском напруження зрівноважуються не тільки трубопроводом і бандажем, але також частково бетонним шаром. Внаслідок ефекту розширення бетону під час твердіння відбувається зменшення розтягувальних напружень у підсиленій частині трубопроводу, що запобігає подальшому росту наявних дефектів.

Мета роботи – розроблення складів розширних композицій і дослідження характеристик дрібнозернистого бетону для ремонту трубопроводів високого тиску.

Методи досліджень і матеріали. Як матеріали для дослідження використовували портландцемент типу ПЦ ІІ-А/Ш М400 ВАТ «Миколаївцемент», негашене вапно з вмістом СаО – 98,5 % та часом гасіння – 5 хв, а як регулятор процесу розширення – технічну сахарозу.

Характер впливу сахарози вивчався за допомогою методів електронної растрової мікроскопії, рентгенофазового аналізу (РФА), диференційно-термічного аналізу (ДТА). Фізико-механічні характеристики розширної композиції встановлювались згідно з ГОСТ 310.4. Кількість води для приготування цементного розчину підбирали за умови досягнення оптимальної рухливості за мінімального водотвердого відношення. Рухливість цементного розчину визначалась за допомогою приладу Суттарда. Зусилля розширення вимірювали на спеціальній установці, в якій використовували тензометричні давачі, а також зразковий динамометр типу ДОСМ-3.

Результати досліджень. Експериментальні дослідження показали, що найбільше зростає розширення за перші 48...50 год. Після 4 діб твердіння бетону зростання самонапруження в бетоні зупиняється. Довготривалі дослідження показали, що досягнуті в бетоні напруження не зменшуються і після 360 діб твердіння.

На рис. 1 наведена кінетика зміни величини зусилля розширення композиції оптимального складу, одержана з використанням автоматичного записувального пристрою. Результати вимірювань показують, що найінтенсивніше зростання зусилля розширення відбувається в два періоди – від 12 до 24 год і 24...27 год. Причому в другий період швидкість наростання розширення є значно вищою, що можна пояснити деяким розігріванням суміші і відповідно прискореною гідратацією як цементних мінералів, так і вапна. Після 30 год швидкість зростання розширення значно зменшується.

Одержаний цементний камінь має високу механічну міцність, що підтверджується результатами фізико-механічних випробувань (рис. 2), і достатню стійкість до проникнення газоподібних

і рідких речовин. Причому встановлено, що існує оптимальне співвідношення між кількістю негашеного вапна, цементу та дрібного заповнювача, за якого досягається максимальна міцність цементного каменю.

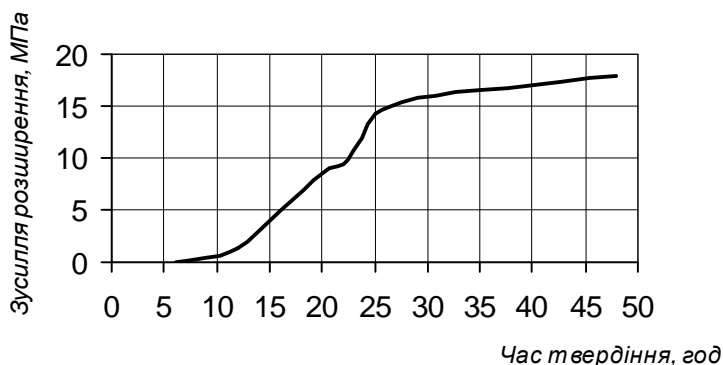


Рис. 1. Кінетика розширення композиції оптимального складу

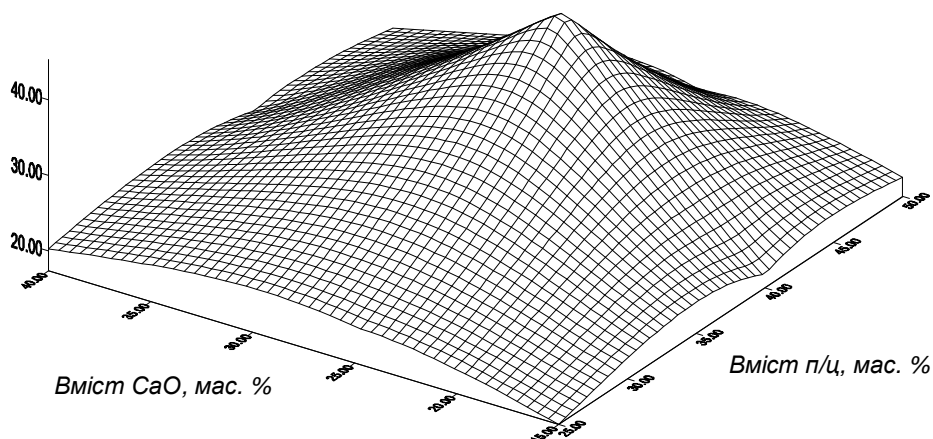


Рис.2. Вплив складу цементної композиції на міцність при стиску

Фізико-хімічні дослідження показали, що умови твердіння розширної композиції впливають на фазовий склад та структуру отриманого каменю. Так, за даними РФА (рис. 3) спостерігаємо дещо різний склад зразків, що тверділи в умовах вільного й обмеженого розширення. Перші характеризуються наявністю інтенсивних піків кальциту і менш інтенсивних – портландиту порівняно з другими. Це пояснюється вільним доступом повітря і частковою карбонізацією $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d/n = 0,493 \text{ нм}; 0,262 \text{ нм}; 0,193 \text{ нм}; 0,179 \text{ нм}; 0,169 \text{ нм}$). В обох зразках наявні дифракційні максимуми еtringіту ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,388 \text{ нм}; 0,277 \text{ нм}; 0,262 \text{ нм}; 0,256 \text{ нм}; 0,221 \text{ нм}$) низькосульфатної форми гідросульфоалюмінату кальцію ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot12\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,446 \text{ нм}; 0,273 \text{ нм}; 0,245 \text{ нм}; 0,241 \text{ нм}; 0,206 \text{ нм}$), ідентифіковано чотирикальцієвий монокарбонатний гідроалюмінат ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot12\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,380 \text{ нм}; 0,278 \text{ нм}; 0,273 \text{ нм}$) – карбонатний відповідник низькосульфатної форми еtringіту, а також гідросилікати і гідроалюмінати кальцію різного складу.

Дослідження поверхні розширеного бетону в растровому мікроскопі показали, що умови твердіння змінюють габітус кристалів портландиту та їх розміри. Так, структура бетону, що твердів

без обмеження розширення, характеризується наявністю великої кількості мікропор (рис. 4, а). Основна маса бетону представлена новоутвореннями у вигляді губчатої маси, в якій спостерігаються скупчення волокнистих кристалів високоосновних гідросилікатів кальцію.

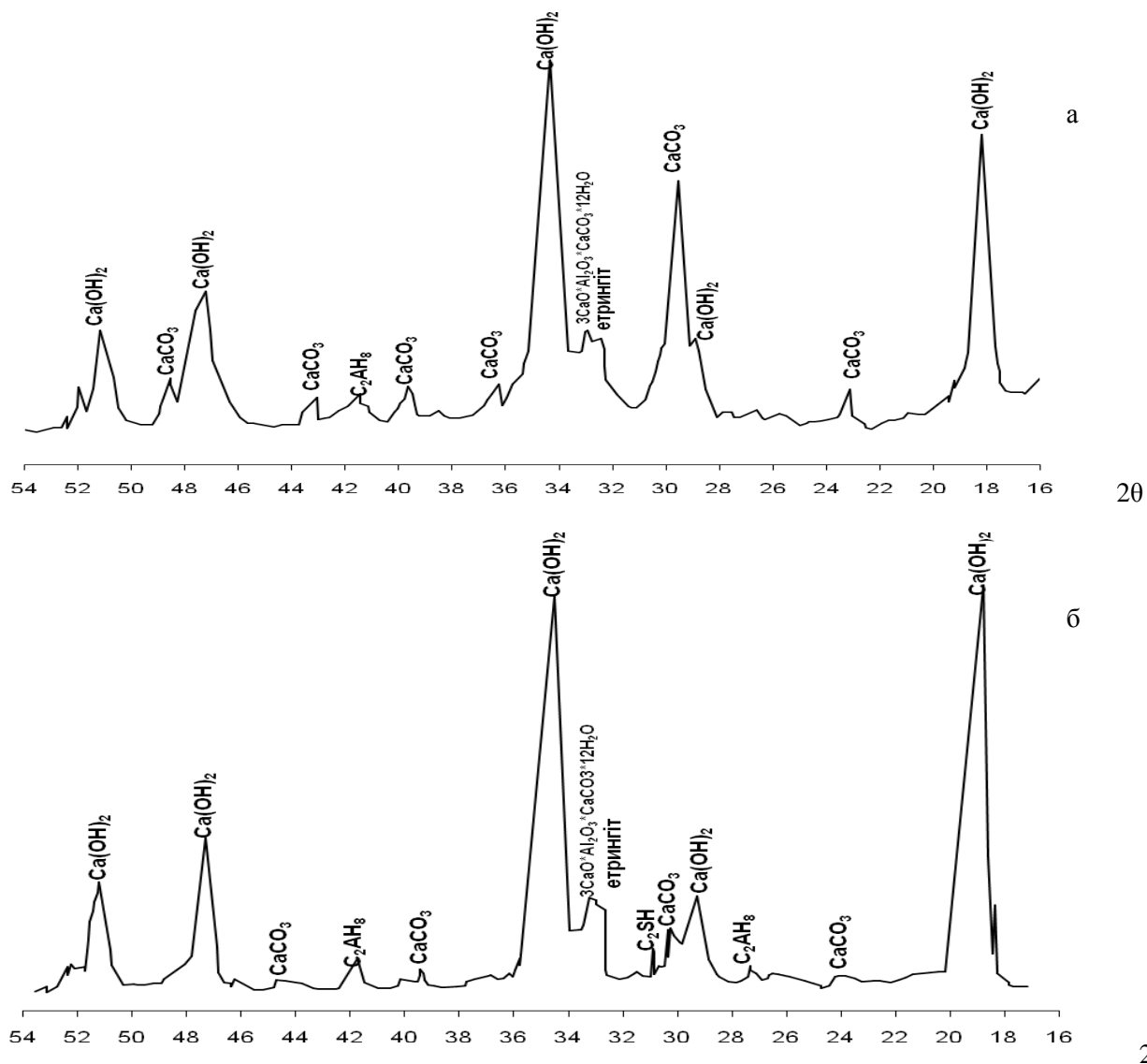


Рис. 3. Дифрактограма розширної композиції, що тверділа 14 діб (а) в умовах вільного розширення, при обмеженні розширення (б)

Поверхня бетону, який зберігався в металевій обоймі, щільніша, з дрібнозернистою структурою (рис.4, б). Зазначимо, що щільний контакт між частинками цементу та вапна сприяв росту кристалів портландиту у вигляді гексагональних пластинок з розмірами 10–15 мкм. Проте основна маса бетону заповнена дуже дрібними новоутвореннями неправильної форми (рис. 4, г). Отже, стиснені умови твердіння змінюють мікроструктуру розширного бетону, в результаті чого зростає його щільність, водо- та газонепроникність.

Розроблений розширний бетон використано для підсилення трубопроводу розміром 1220×12 мм (робочий тиск 4,2 МПа) бандажем із труби 1420×15,7 мм лінійної частини магістрального газопроводу УМГ "Львівтрансгаз".

Аналіз напружено-деформованого стану трубопроводу в зоні впливу крайового ефекту виконано із застосуванням МСЕ. Епюри зміни інтенсивності напружень у точках біля зовнішньої та внутрішньої поверхні наведено на рис. 5 (крива 1 та крива 2). Ці епюри показують, що інтенсивність напружень набуває максимального значення 198,1 МПа у точках біля зовнішньої

поверхні на відстані 100 мм від краю бетонного шару, половина довжини якого дорівнює 300 мм, що істотно менше від мінімальної границі текучості металу труб (сталь 17ГС, $\sigma_T = 360 \text{ МПа}$).

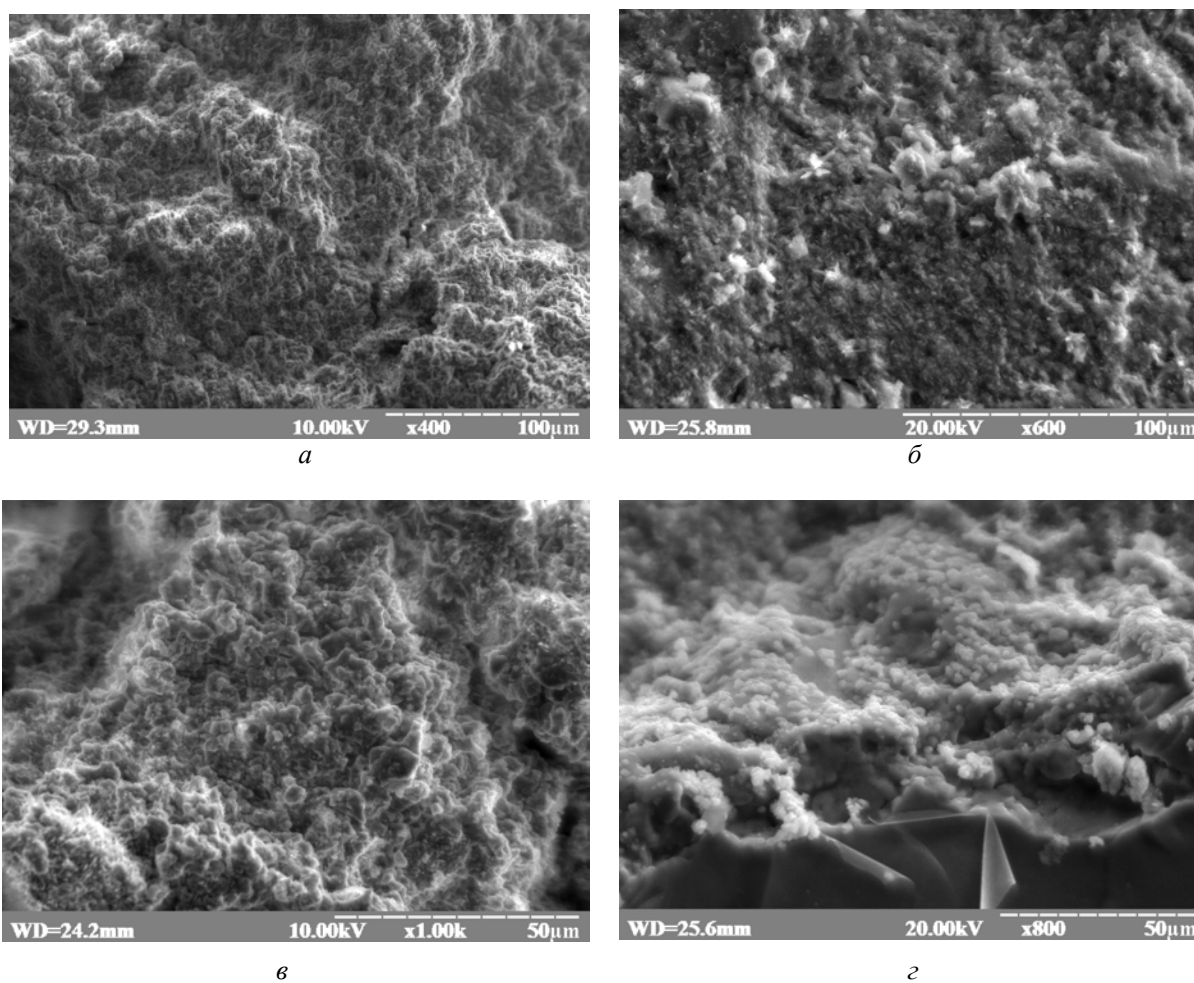


Рис. 4. Електронні мікрофотографії поверхні сколу розширеного бетону, що твердів 360 діб: а, в – в умовах вільного розширення; б, г – за обмеження розширення

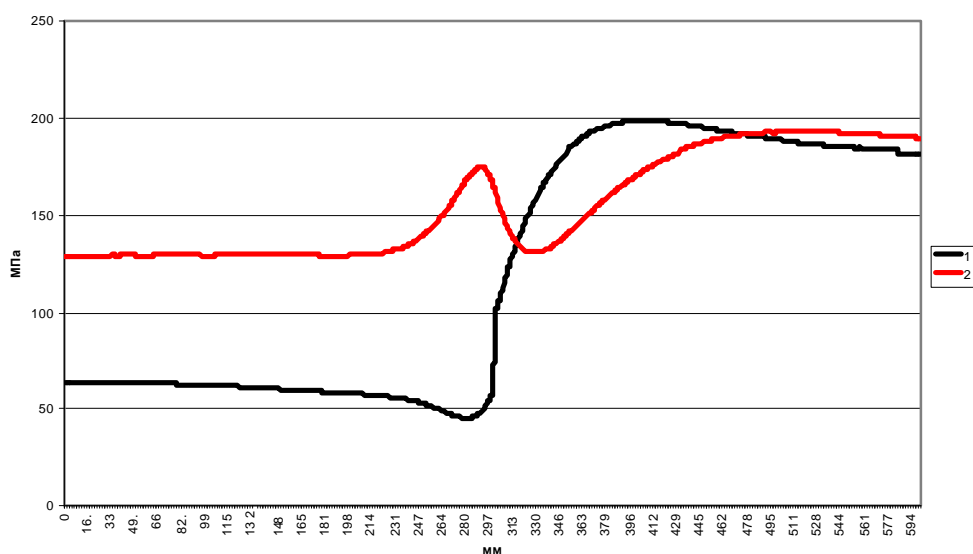


Рис. 5. Етюри розподілу інтенсивності напружень вздовж трубопроводу від середини муфти на зовнішній (крива 1) і внутрішній (крива 2) поверхнях

З віддаленням від торця муфти хвилі інтенсивності напружень швидко згасають. З точністю до 5 % можна вважати, що вплив крайового ефекту на збурення напружено-деформованого стану поширюється від торця муфти приблизно на половину радіуса труби.

Виконані дослідження підтвердили достатньо високу ефективність способу підсилення лінійної частини магістральних газопроводів неприварними муфтами та розширним бетоном. Цей спосіб дає можливість значно зменшувати в трубопроводі спричинювані внутрішнім тиском кільцеві напруження та відновлювати послаблену дефектами несучу здатність труб. Особливо перспективним цей спосіб є для ремонту ділянок, прокладених на болотистій місцевості, та підводних переходів.

Висновок. Встановлено, що основне збільшення зусилля розширення розробленої композиції відбувається в два етапи протягом 27 год, при цьому існує оптимальне співвідношення між компонентами, за якого досягається максимальна міцність цементного каменю. Умови тверднення розширних композицій впливають на фазовий склад і мікроструктуру цементного каменю. Це дає змогу з успіхом використовувати такі композиції для герметизації міжтрубного простору між магістральною трубою і бандажем, а також регулювати величину зусилля розширення (монтажний тиск) залежно від робочого тиску в діючому трубопроводі.

1. Пат. 38190 А Україна. Спосіб ремонтування магістрального трубопроводу / Дрогомирецький М.М., Петровський Б.С., Рильніков Б.С., Білобран Б.С., Якимечко Я.Б.(UA). – Опубл. 15.05.01, Бюл. №4. 2. Фокин М.Ф., Трубицын В.А. и др. Методы восстановления несущей способности линейной части магистральных нефтепроводов.–М.: ВНИИОЭНГ, 1986. – 36 с. 3. Егерман Г.Ф., Джафаров М.Д., Никитенко Е.А. Ремонт магистральных газопроводов. – М.: Недра, 1973. – 288 с. 4. Шлапак Л.С., Розганюк В.В., Кадай С.І., Дрогомерецький М.М. Ремонт дефектних ділянок газопроводів з використанням композитних підсилюючих бандажів // Нафт. і газова пром – сть. – 2001. – №6. – С. 55 – 57. 5. Фокин М.Ф., Трубицын В.А. и др. Методы восстановления несущей способности линейной части магистральных нефтепроводов. – М.: ВНИИОЭНГ, 1986. – 36 с. 6. Пермяков Н.Г., Ращепкин К.Е., Лупин В.А. Бандажирование магистральных трубопроводов // Обз. инф. Серия “Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов”. – М.: ВНИИОЭНГ.1979. – 49 с.