

М. М. Семерак¹, Д. В. Харишин², Н. О. Ферениц², Т.Г. Бережанський²

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ ТРУБОБЕТОННИХ КОЛОН ВОГНЕЗАХИСНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Для зведення висотних будівель та споруд сьогодні все частіше використовують трубобетонні конструкції. До переваг трубобетонних колон слід віднести більш спрощені умови технології виготовлення та монтажу на їх основі несучих конструкцій перекриття поверхів.

Трубобетонні конструкції складаються зі сталевий обійми і бетонного ядра. Оскільки сталевий труба в основному забезпечує несучу здатність трубобетонної колони, то її вихід з ладу або зменшення жорсткості, що характерно при пожежі під дією її теплових факторів, призводить до руйнування. Дослідження вогнестійкості трубобетонних конструкцій, які захищені вогнезахисними покриттями, показали, що сталевий обійма під час пожежі за 15 хв нагрівається до критичної температури 500 °С.

Використання вогнезахисних покриттів – ефективний спосіб вогнезахисту трубобетонних конструкцій, який запобігає швидкому прогріванню сталевий обійми і забезпечує нормовану межу вогнестійкості таких конструкцій. У роботі проходились дослідження ефективності вогнезахисту трубобетонних колон різними за типом вогнезахисними матеріалами – мінераловатними плитами, спеціальними вогнезахисними складами та вогнезахисними покриттями, які спучуються. Для вогнезахисту мінераловатними матеріалами використовувались плити ROCKWOOL серії «Conlit SL150». Мінераловатні плити «Conlit SL 150» складаються з волокон гірських порід базальтової групи, вони здатні витримувати, не плавлячись, температуру понад 1000 °С. Силікатовмісний клей «Conlit Glue» витримує температуру понад 900 °С, має хорошу адгезію при склеюванні мінераловатних плит «Conlit SL 150» з поверхнею конструкцій, які захищають. З другого типу вогнезахисних матеріалів було вибрано вогнезахисний склад «Натреск» на основі гіпсу. Покриття утворюється завдяки твердненню суміші на захищуваних поверхнях. Третій тип вогнезахисних матеріалів – вогнезахисне інтумесцентне покриття «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2».

Встановлено, що при використанні вогнезахисних систем на основі мінераловатних плит «Conlit SL150» і вогнезахисної штукатурки «Натреск» клас вогнестійкості трубобетонних колон підвищується з R 15 до R 180. Вогнезахисна система на основі фарби, яка спучується, «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2» підвищує вогнестійкість з R 15 до R 75.

Ключові слова: вогнестійкість, трубобетонні конструкції, вогнезахисне покриття, межа вогнестійкості

Постановка проблеми. Зараз в Україні та за кордоном для зведення висотних будівель та споруд використовують трубобетонні конструкції. Ефективність трубобетонних конструкцій спричинена багатьма позитивними якостями. Їх зовнішня сталевий труба-оболонка, яка виконує одночасно функцію як поздовжнього, так і поперечного армування, здатна сприймати зусилля у всіх напрямках і під будь-яким кутом. Крім того бічний тиск труби перешкоджає розвитку мікротріщин розриву в бетоні, який, будучи ізольованим, прагне збільшити свої розміри в радіальному напрямку. Такий ефект обійми створює ідеальні умови для роботи

бетонного ядра під навантаженням, тим самим підвищуючи несучу здатність всього масиву. В результаті чого міцність при стисненні зростає приблизно на 50–80%. Сталевий труба в свою чергу, завдяки сприятливому впливу внутрішнього тиску твердого середовища, значною мірою, запобігає втраті несучої спроможності [1, 2].

Використання трубобетонних конструкцій дає суттєву економію сталі і бетону, завдяки зменшенню розмірів перерізів елементів і їх маси, що своєю чергою зменшує транспортні витрати. До переваг трубобетонних колон слід віднести більш спрощені умови технології виготов-

лення та монтажу на їх основі несучих конструкцій перекриття поверхів [3]. Однак, труобетонні конструкції є недостатньо технічно досконалими в умовах пожежі, а тому дослідження ефективності вогнезахисту труобетонних колон різними вогнезахисними матеріалами є актуальним.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Результати досліджень труобетонних конструкцій засвідчують їх надійність в експлуатації. У висотних будівлях і спорудах, піддаючись впливу різноманітних навантажень, вони можуть тривалий час їх витримувати, тоді як залізобетонні колони в таких умовах втрачають несучу здатність миттєво [2]. Дослідження вогнестійкості труобетонних конструкцій, які не захищені вогнезахисними покриттями, показали [3], що сталеве кільце при пожежі вже за 15 хв нагрівається до критичної температури 500 °С. Авторами [5, 6] розроблено методику досліджень напружено-деформованого стану в двошарових циліндричних конструкціях в умовах нагрівання, сформульовано граничні умови нагрівання.

Мета роботи. Дослідження ефективності вогнезахисту труобетонних колон різними вогнезахисними матеріалами.

Постановка задачі та її розв'язання.

Труобетон є комплексною конструкцією, яка складається з сталеві оболонки і бетонного ядра, що працюють спільно. Труобетонні елементи мають невелику гнучкість і малі ексцентриситети прикладеної поздовжньої сили (що характерно для вертикальних несучих елементів каркасів висотних будівель), мають виключно високу несучу здатність при відносно малих поперечних перерізах, є прикладом вдалого поєднання цінних властивостей металу і бетону.

Під час пожежі несучі труобетонні конструкції піддаються одночасній дії робочого навантаження і короткочасного інтенсивного нестационарного високотемпературного впливу, що викликає незворотні відхилення в структурі бетону та арматури. Температура поверхонь, які нагріваються, при стандартному температурному режимі пожежі може сягати 1000...1100 °С, а в умовах реальної пожежі – 1600 °С. Вплив температури призводить до зниження міцнісних і збільшення деформативних властивостей бетону та сталі, викликає розвиток температурних деформацій [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Оскільки несуча здатність труобетонної колони в основному забезпечує сталеві труба, то її вихід з ладу або зменшення жорсткості, що характерно під час пожежі під дією теплових факторів, призводить до руйнування.

Вогнестійкість будівель і споруд – один із найважливіших чинників безпеки на об'єктах. До найбільш поширених матеріалів, які використовують при пасивному способі вогнезахисту, відносять конструктивні вогнезахисні матеріали (плити, сегменти, керамічні вироби, блоки тощо), вогнезахисні штукатурні суміші та тонкошарові реактивні покриття інтумесцентного (спучувального) типу.

Використання вогнезахисних покриттів – ефективний спосіб вогнезахисту труобетонних конструкцій, який запобігає швидкому прогріванню сталевого кільця і забезпечує нормовану межу вогнестійкості таких конструкцій. У роботі проводились дослідження ефективності вогнезахисту труобетонних колон різними за типом вогнезахисними матеріалами – мінераловатними плитами, спеціальними вогнезахисними складами та вогнезахисними спучувальними покриттями.

Для вогнезахисту мінераловатними матеріалами використовувались плити ROCKWOOL серії «Conlit SL150» [6]. Мінераловатні плити «Conlit SL 150» складаються з волокон гірських порід базальтової групи, вони здатні витримувати, не плавлячись, температуру понад 1000 °С. Силікатовмісний клей «Conlit Glue» витримує температуру понад 900 °С, має хорошу адгезію при склеюванні мінераловатних плит «Conlit SL 150» з поверхнею захищуваних конструкцій. Вогнезахисні композиції з мінераловатних плит «Conlit SL 150» і клею «Conlit Glue» використовують для підвищення вогнестійкості несучих сталевих конструкцій. Такі плити виготовляють стандартної товщини: 25 мм, 40 мм і 80 мм.

З вогнезахисних матеріалів другого типу було вибрано вогнезахисний склад «Натреск» на основі гіпсу. Покриття утворюється в процесі шляхом тверднення суміші на захищуваних поверхнях. Таке покриття зберігає адгезійні і когезійні властивості при всіх температурах діапазону стандартного режиму пожежі.

Третій тип вогнезахисних матеріалів – вогнезахисне інтумесцентне покриття «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2» [6]. Товщина покриття – від 1 мм до 1,5 мм. Також вважається, що покриття зберігає свою дієвість у всьому діапазоні «стандартної пожежі».

Теплофізичні характеристики мінераловатних плит «Conlit SL150», вогнезахисного покриття «Натреск» та вогнезахисного інтумесцентного покриття «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2» наведені в табл. 1 [6].

Таблиця 1

Теплофізичні властивості мінераловатних плит «Conlit SL150», вогнезахисних покриттів «Натреск» і «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2»

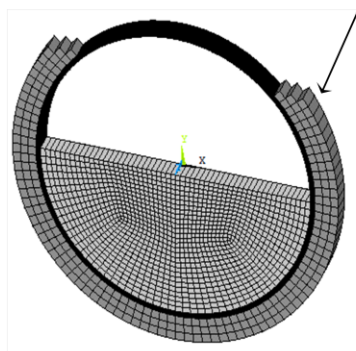
Вид вогнезахисного матеріалу	Мінераловатні плити «Conlit SL150»	Вогнезахисне покриття «Натреск»	Вогнезахисне покриття «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2»	
			до спучування	після спучування
Густина, кг/м ³	165	300	1340	140
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,036	0,11	0,145	0,0145
Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	1000	1000	1100	1100

Кінцево-елементні схеми для розв'язання теплотехнічної задачі трубобетонних колон з різними за типом вогнезахисними системами показано на рис. 1. Для дослідження процесів нестационарного нагрівання колони використовувались чисельні методи розрахунку, реалізовані в програмному комплексі ANSYS [8, 9].

Після побудови цих схем було проведено

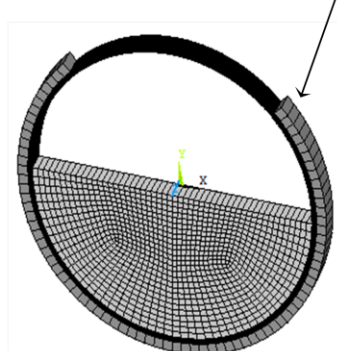
розрахунки температурних розподілів в колоні впродовж максимального регламентованого часу – 180 хв. Отримано температурні розподіли для трубобетонних колон з різними вогнезахисними покриттями. Температурні розподіли для колони з вогнезахисними системами «Conlit SL150», «Натреск» та «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2» наведено на рис. 2.

КЕ вогнезахисного мінераловатного покриття «Conlit»



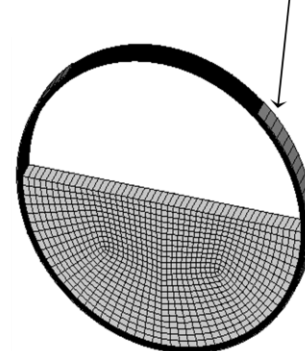
а

КЕ вогнезахисної штукатурки «Натреск»



б

КЕ вогнезахисної фарби, «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2»



в

Рисунок 1 – Кінцево-елементні схеми трубобетонних колон з різними вогнезахисними системами: а – «Conlit SL150»; б – «Натреск»; в – «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2»

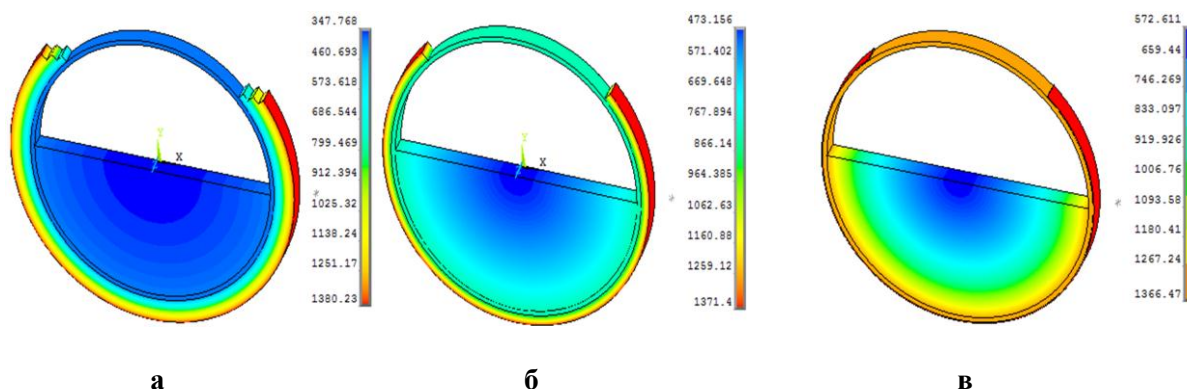


Рисунок 2 – Температурне поле в перерізі трубобетонних колон з різними вогнезахисними системами за 180 хв розвитку пожежі за стандартним температурним режимом: а – «Conlit SL150»; б – «Натреск»; в – «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2»

Аналіз температурних полів, отриманих в результаті розрахунків, показав, що найбільш ефективною вогнезахисною системою є композиція на основі мінераловатних плит «Conlit SL150», оскільки на 180 хв температура сталеві оболонки не перевищує 200 °С. Найменший вогнезахисний ефект має система «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2». Температура 500 °С на сталевій оболонці досягається на 75 хв.

На рис. 3 наведені графіки прогрівання внутрішніх шарів колон.

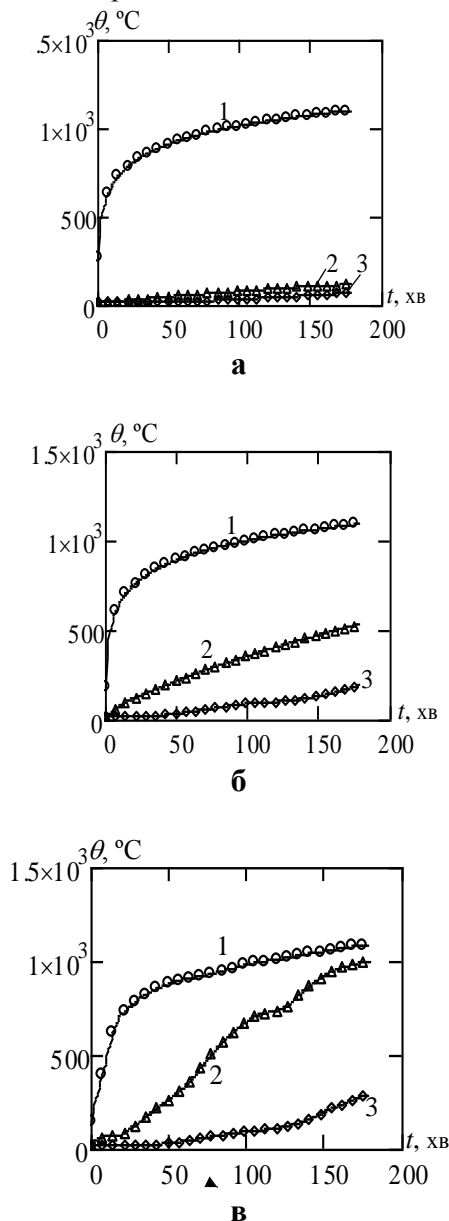


Рисунок 3 – Зміна з часом температури поверхні ізолюваної колони (1), сталеві оболонки (2) і середини бетонного ядра колони (3) з різними вогнезахисними системами: а – «Conlit SL150»; б – «Natresk»; в – «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2»

Як показано на рис. 3, температура сталеві оболонки колони з вогнезахисною системою на основі мінераловатних плит «Conlit SL150» не перевищує 200 °С. Така система є найбільш ефективною. Дещо менший вогнезахисний ефект має система на основі вогнезахисної штукатурки «Natresk». При використанні цієї системи температура сталеві оболонки не піднімається вище 510 °С. Найменший вогнезахисний ефект спостерігається для системи на основі вогнезахисної фарби «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2». Точність результатів розрахунків порівняно з експериментальними даними становить 14%.

У роботі проводились розрахунки щодо напружено-деформованого стану трубо-бетонної колони із вогнезахистом в умовах нагрівання при впливі пожежі із стандартним температурним режимом. Для визначення межі вогнестійкості за втратою несучої здатності були побудовані графіки максимального переміщення верхнього кінця колони, які наведені на рис.4.

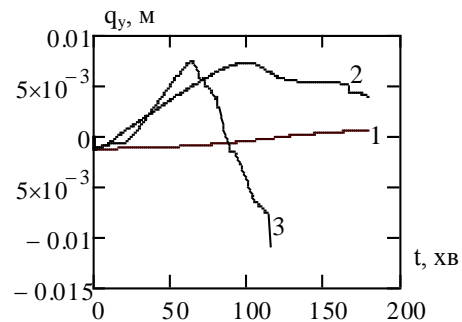


Рисунок 4 – Графіки переміщення верхнього кінця трубобетонної колони протягом 180 хв впливу пожежі із стандартним температурним режимом при застосуванні різних вогнезахисних систем: 1 – «Conlit SL150»; 2 – «Natresk»; 3 – «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2»

Аналізуючи графіки переміщення верхнього кінця трубобетонних колон із різними вогнезахисними системами в умовах впливу пожежі можна побачити, що для колон із системами «Conlit SL150» та «Natresk» втрата несучої здатності впродовж 180 хв не наступає, а для системи на основі вогнезахисної фарби «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2» спостерігається на 115 хв.

Висновки. Досліджено ефективність вогнезахисту трубобетонних колон різними вогнезахисними матеріалами. Встановлено, що при використанні вогнезахисних систем на основі мінераловатних плит «Conlit SL150» і вогнезахисної штукатурки «Natresk» клас вогнестійкості трубобетонних колон підвищується з R 15 до R 180. Вогнезахисна система на основі фарби, яка спучується, «Pyro-Safe Flammoplast SP-A2» підвищує вогнестійкість з R 15 до R 90.

Список літератури

1. Лукша Л. К. Прочность трубобетона. – Минск: Высшая школа, 1977. – 96 с.
2. Стороженко Л. И. Трубобетонные конструкции. – Киев: Будивельник, 1978. – 82 с.
3. Кикин А. И., Саржановский Р. С., Труль В. А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 144 с.
4. Генийев Г. А., Киссюк В. Н., Тюпин В. А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
5. Семерак М. М. Математична модель процесу нагрівання трубобетонних колон за умов пожежі / М. М. Семерак, О. В. Некора, Д. В. Харишин, А. В. Поздєєв // Пожежна безпека : зб. наук. праць. ЛДУБЖД – 2017. №30. С. 142-152.
6. Семерак М. М. Огнестойкость трубобетонных колонн защищенных огнезащитными материалами / М. М. Семерак, О. В. Некора, Д. В. Харишин // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – Кокшетау, 2016. – №4 (28). – С. 42-50.
7. Поздеев С. В. Развитие научных основ определения пределов огнестойкости несущих железобетонных конструкций: дис. ... докт. техн. наук: 21.06.02. – Черкассы, 2012. – 360 с.
8. Технологический регламент 11-07. Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT 150 SL и клея CONLIT Glue. Москва. – 2010. – 14 с.
9. ANSYS, ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.

References:

1. Luksha L. K. Prochnost' trubobetonu. – Mynsk: Vysshaya shkola, 1977. – 96 s.
2. Storozhenko L. Y. Trubobetonnye konstruktsyy. – Kyev :Budyvel'nyk, 1978. – 82 s.
3. Kikin A.I., Sarzhanovs'ky R.S., Trul' V.A. Konstruktsiyi z stalevykh trub, zapovneni betonom. - Moskva: Stroyizdat, 1974. – 144 s.
4. Heniyev H.A., Kissyuk V.M., Tyupin V.A. Teoriya plastychnosti betonu ta zalizobetonu. - M.: Stroyizdat, 1974. – 316 s.
5. Semerak M.M. Matematychna model' protsesu nahrivannya trubobetonnykh kolon za umov pozhezhi / M.M. Semerak, O.V. Nekora, D.V. Kharyshyn, A.V. Pozdyeyev // Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. prats'. LDUBZHD – 2017. №30. S. 142-152.
6. Semerak M.M. Ohnestykist' trubobetonnykh kolonn zakhshchenykh ohnezakhysnykh materialiv / M.M. Semerak, O.V. Nekora, D.V. Kharyshyn // Vestnyk Kokshetaus'koho tekhnichnoho instytutu Komitetu po nadzvychnaynym sytuatsiyam MVS Respubliky Kazakhstan. – Kokshetau, 2016. – №4 (28). – S. 42-50.
7. Pozdeev S.V. Rozrobka naukovykh osnov vyznachennya mezh vohnestykosti zalizobetonnykh konstruktsiy: dyss. ... doc. tekhnichni nauky: 21.06.02. – Cherkasy, 2012. – 360 s.
8. Tekhnolohycheskyy rehlament 11-07. Robocha instruktziya kompozytsiy z vohnezhakhystu dlya stal'nykh konstruktsiy z mineralovatnykh plyt ROCKWOOL seriyi CONLIT 150 SL ta kley CONLIT Kley. Moskva. – 2010. – 14 s.
9. ANSYS, ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.

M.M. Semerak, D.V. Kharyshyn, N. O. Ferents, T.G.Berezhanskyi

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF THE STEEL TUBE CONFINEMENT CONCRETE PILLARS PROTECTION BY FIRE-RETARDANT MATERIALS

Currently, in Ukraine and abroad for the construction of high-rise buildings and structures using pipe-like structures. Wide application of pipe concrete columns is due to their high carrying capacity at relatively smaller overall dimensions due to the blocking of cracking in concrete by a steel clasp. The advantages of concrete columns should include more simplified conditions of technology of manufacturing and installation on their basis of bearing structures of floor covering.

Piping constructions consist of steel shells and concrete core. Since the steel pipe mainly provides the bearing capacity of the concrete column, its failure or reduction of stiffness, which is characteristic of the fire under the influence of its thermal factors, leads to destruction. Investigation of fire resistance of concrete structures, which are not protected by flame retardant coatings, showed that a steel clasp during a fire after 15 minutes is heated to a critical temperature of 500 ° C.

The use of flame retardant coatings is an effective method of fire protection of concrete constructions, which prevents the rapid heating of steel welds and provides a normalized fire resistance limit for such structures. In this work, studies were carried out on the effectiveness of fire protection of concrete columns with different types of fire-retardant materials - mineral wool slabs, special flame retardants and flame-retardant coatings. For fire protection mineral wool

materials were used ROCKWOOL plates of the series "Conlit SL150". Mineral wool plates "Conlit SL 150" consist of fibers of rocks of a basalt group, they can withstand, without melting, temperature more than 1000 ° C. The silica-based adhesive "Conlit Glue" can withstand temperatures above 900 ° C, has good adhesion when bonding Conlit SL 150 mineral wool slabs with protective structures. From the second type of fire-retardant materials, the fire-proof composition "Naktresk" was chosen on the basis of gypsum. The coating is formed in the process due to hardening of the mixture on protected surfaces. The third type of flame retardant materials is the flame-retardant intumescent coating "Pyro-Safe Flammoplast SP-A2".

It has been established that with the use of fire protection systems on the basis of mineral wool plates "Conlit SL150" and fire retardant "Nutresk", the fire resistance class of reinforced concrete columns increases from R 15 to R 180. The fire protection system on the basis of the painted paint "Pyro-Safe Flammoplast SP-A2" »Increases fire resistance from R 15 to R 75.

Key words: fire resistance, pipe concrete structures, fire protection coating, fire resistance limit