

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

TRANSPORT CONSTRUCTION

Основан в 1931 г.

2/ 2023

ISSN 0131-4300



Завершено строительство новых участков
федеральной трассы М-4 «Дон» – скоростных обходов
Ростова-на-Дону и Краснодара (с. 4)

МОСТОСТРОЕНИЕ

ТОННЕЛЕСТРОЕНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Области применения однокомпонентных гидроактивных полиуретановых пен и гелей в метростроении

КОБИДЗЕ Т.Е., канд. техн. наук, гл. специалист, КРЫМОВ О.Б., инж., АО «Мосинжпроект»;
 КОНЮХОВ Д.С., канд. техн. наук, доц., Институт науки и технологии МИСИС;
 СЛАБОДКИН А.А., ген. директор ООО «Инжект», Москва;
 ГЕНРИХ АРНОЛЬД, дипломированный инж., независимый исследователь, Дюссельдорф, ФРГ

Аннотация

На основе анализа свойств продуктов химической реакции соединения реагентов одно- и двухкомпонентных полиуретановых систем, сведений из научно-технической литературы, а также требований отечественной и зарубежной нормативной документации обоснована необходимость разграничения по назначению и областям применения инъекционных гидроактивных однокомпонентных полиуретановых систем (пен и гелей) и двухкомпонентных полиуретановых смол при ремонте конструкций подземных сооружений метрополитена.

Ключевые слова

гель, гидроактивность, гидролиз, инъектирование, макромолекула, пена, полимочевина, полиуретан

Abstract

On the basis of analysis of chemical reaction products properties of one- and two-component polyurethane systems, information from scientific and technical literature as well as requirements of domestic and foreign normative documentation the necessity of distribution of purpose and application field of injectable hydroactive one-component polyurethane systems (foams and gels) and two-component polyurethane resins for repair of underground constructions of underground has been substantiated.

Keywords

foam, gel, hydroactivity, hydrolysis, injection, macromolecule, polyurea, polyurethane

В отечественной практике метростроения взамен двухкомпонентных инъекционных полиуретановых смол всё чаще стали применять однокомпонентные гидроактивные полиуретановые инъекционные системы (пены и гели) для герметизации фильтрующих деформационных и рабочих швов, а также трещин, расщелин и полостей железобетонных конструкций подземных сооружений. Тем самым ставится знак равенства между указанными материалами, на основании чего обосновывается относительная эффективность применения однокомпонентных систем, основываясь на простоте и доступности выполнения

с их помощью инъекционных работ с применением простых в обращении и недорогих однокомпонентных насосов.

При этом одно- и двухкомпонентные полиуретановые системы различаются исходным сырьем для своего производства, химическим строением макромолекул, а конечная продукция в виде инъекционных уплотнений полостей фильтрующих дефектов бетона – плотностью, гидрофильностью, физико-механическими и структурными характеристиками, водостойкостью и др. Это ставит под сомнение их взаимозаменяемость и требует установления различия между эксплуатационными свойствами этих материалов и, как следствие, – разграничения областей их применения.

Национальный стандарт [1], регулирующий технические и эксплуатационные характеристики инъекционно-уплотняющих составов, не разграничивает их на одно- и двухкомпонентные системы. Однако обзор и анализ европейских стандартов, отечественной научно-технической информации однозначно указывает на необходимость ограничения областей применения на объектах повышенной ответственности, в частности, в метрополитене, гидроактивных однокомпонентных полиуретановых систем, в отличие от двухкомпонентных полиуретановых смол, исходя из следующих факторов.

1. Конечный продукт гидроактивных однокомпонентных полиуретановых пен и гелей, образующийся после их взаимодействия с водой, представляет собой гидрофильный полимер линейного строения с преобладающим содержанием мочевиновых групп (связей) макромолекул, что, в свою очередь, определяет нестабильность и подверженность однокомпонентных полиуретановых систем ускоренному гидролизу (рис. 1).

Указанные факторы обуславливают на порядок более низкую долговечность и водостойкость однокомпонентных полиуретановых материалов по сравнению с двухкомпонентными полиуретановыми смолами, формирующими пространственно разветвленную

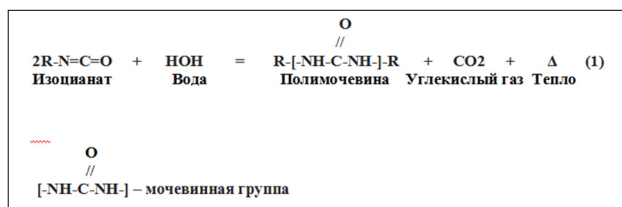


Рис. 1. Образование макромолекул мочевиновых групп

блочную структуру с преобладающим содержанием гидрофобных уретановых групп с прочной физической связью (рис. 2). Это свидетельствует о химической стабильности, высоких прочностных свойствах полученного уплотняющего гидрофобного полимера и его стойкости к гидролизу.

2. Вторым компонентом для однокомпонентных гидроактивных полиуретановых систем является вода, при контакте с которой происходят химическая реакция с пенообразованием или набуханием исходного материала и образование конечного продукта в виде пены или геля.

Скоротечность химической реакции практически исключает возможность предварительного смешивания компонентов в заданном объеме и соотношении до получения однородной смеси при выполнении инъекционных работ с помощью однокомпонентных насосов и для обеспечения стабильных и прогнозируемых эксплуатационных свойств инъекционного состава.

При инъектировании этих материалов однокомпонентным насосом в фильтрующие дефекты железобетонных конструкций или за обделку тоннеля происходит их произвольное, неконтролируемое и с большой вероятностью – неравномерное перемешивание с грунтовой водой, выступающей в качестве второго компонента, с получением конечного продукта – пены или геля – с такими непредсказуемыми и нестабильными физико-механическими, техническими и эксплуатационными свойствами, как коэффициент вспенивания и набухания, нагнетаемость, прочность, эластичность, характер макропористой структуры, водонепроницаемость, адгезия к бетону и др.

Гидроактивность, отсутствие прогнозируемости технических характеристик и гидрофильность заметно снижают как долговечность, так и эксплуатационную надежность уплотнений из этих материалов (рис. 3), делают их непригодными для герметизации нефiltrующих дефектов бетона.

3. Применение однокомпонентных насосов для инъектирования полиуретановых гелей недопустимо и является нарушением технологических правил использования этих материалов, которые, в отличие от

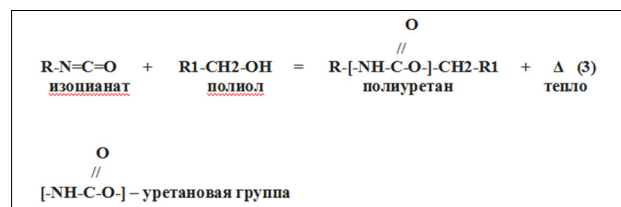


Рис. 2. Образование макромолекул уретановых групп

технологии однокомпонентных пен, предусматривают обязательное применение сложных и дорогостоящих двухкомпонентных насосов с возможностью регулирования заданного соотношения продукта и воды в широких пределах – от 1:1 до 1:15 – путем их смешивания в смесительной головке перед инъекцией через пакер, например, с помощью поршневого пневматического насоса типа UNIPRESS D4 [2] для инъектирования полиуретановых гелей с возможностью плавной регулировки соотношения смешивания. Это обусловлено тем, что из указанного материала, в отличие от полиуретановых пен, в зависимости от количества воды, присутствующей в системе, образуется либо гель, либо пена. Поэтому при применении однокомпонентного насоса невозможно обеспечить



Рис. 3. Водопроявления на выпусках инженерной коммуникации (а) и в технологическом шве (б), уплотненных однокомпонентным гидроактивным пенополиуретановым инъекционным составом

получение заданного подвида конечного продукта (к тому же с непрогнозируемыми физико-техническими и эксплуатационными свойствами по п. 2), предназначенного для решения различных предварительно обозначенных технологических задач.

Таким образом, положения, изложенные в пп. 1, 2 и 3, указывают на отсутствие гарантии качественного, надежного и долговременного решения поставленной технологической задачи с применением гидроактивных однокомпонентных полиуретановых пен и гелей с применением однокомпонентных насосов.

Инъектирование двухкомпонентных полиуретановых инъекционных смол в фильтрующие и в «сухие» дефекты железобетонных конструкций с применением однокомпонентных насосов предусмотрено технологией при длительности жизни двухкомпонентного инъекционного состава не менее 20 мин с помощью мембранных электрических однокомпонентных насосов типа LM-Injekt [3] для инъектирования полиуретановых однокомпонентных пен, а также полиуретановых и эпоксидных двухкомпонентных составов.

Этот срок достаточен для предварительного смешивания с заданным соотношением двух компонентов смолы А и Б до приготовления инъекционной однородно перемешанной гомогенной смеси с прогнозируемыми и стабильными эксплуатационными свойствами и последующего выполнения инъекционных работ с применением однокомпонентного насоса.

Двухкомпонентные насосы (например, пневматический двухкомпонентный насос типа GX 45 PU с потреблением сжатого воздуха до 4,5 м³/мин) применяются при инъектировании дефектов с экстремальным водопритокотом, что определяется необходимостью использования быстротвердеющих двухкомпонентных полиуретановых смол.

Таким образом, применение однокомпонентных насосов не является преимущественной прерогативой для гидроактивных однокомпонентных инъекционных систем (пен и гелей).

Сведения об отсутствии возможности у гидроактивных полиуретановых однокомпонентных пен обеспечить долговременную и надежную водонепроницаемость фильтрующих дефектов железобетонных конструкций приведены в [4] и предусматривают, что:

- «для обеспечения долговременной водонепроницаемости и надежности после применения гидроактивной пены необходимо провести дополнительный этап инъектирования с помощью полиуретановой смолы, которая не образует пену и придает соединению прочность и долговечность»;
- «стабильность химического состава полиуре-

тановых смол обеспечивает высокую долговечность и механическую прочность, а также способность противостоять высокому давлению воды».

Необходимость ограничения области применения однокомпонентных полиуретановых систем в транспортном строительстве подтверждается тем, что аналогичная рекомендация закреплена в зарубежных стандартах, в их числе:

– немецкое Федеральное агентство по дорожным делам в Технических условиях и рекомендациях по инженерным сооружениям [5, ч. 3, разд. 5 «Заполнение трещин и полостей в бетонных элементах»] предусматривает, что «для инъекций полиуретаном трещин с ограниченной растяжимостью бетонных кромок и для заполнения полостей разрешается использовать только двухкомпонентные полиуретаны, включенные в состав сертифицированных полиуретанов и процедур инъекций»;

– австрийский свод правил в отношении всех мероприятий в строительстве для соединений с применением инъекционной технологий [6] содержит директиву «Сохранение и ремонт зданий из бетона и железобетона» применительно к технологиям инъекций (ч. 1 «Здания из бетона и железобетона») следующего содержания: «Полиуретановые гели не используются в трещинах в железобетоне, а только для специальных применений в околосредовой области».

Заключение

Из изложенного следует, что необходимо ограничить (исключить) применение гидроактивных однокомпонентных полиуретановых пен и геля для устройства инъекционного герметизирующего уплотнения в полости фильтрующих дефектов железобетонных конструкций подземных сооружений повышенного уровня ответственности, к которым относятся подземные объекты метрополитена.

Применение однокомпонентных полиуретановых систем взамен сравнительно более дорогостоящих видов двухкомпонентных полиуретановых инъекционных смол допускается в отдельных, непредвиденных или экстремальных случаях, например, для решения следующих задач в метростроении:

- уплотнение, консолидация заобделочного грунта и временная ликвидация водяной линзы в контактной зоне грунт – обделка;
- образование локальной противоточной завесы за обделкой для остановки поступления активного водопритока в шов, полость, пустоту или трещину с целью последующего качественного уплотнения фильтрующего дефекта двухкомпонентной полиуретановой смолой или другими инъекционными

ми материалами по [1] (на основе полимочевинных, метилметакрилатных и эпоксидных смол, цементного вяжущего) методом их инъектирования в полость дефекта;

– в случае необходимости герметизации фильтрующего дефекта железобетонных конструкций с экстремальным водопитоком при отсутствии быстротвердеющей двухкомпонентной смолы или двухкомпонентного насоса для ее нагнетания.

Список источников

- ГОСТ 33762-2016 (EN 1504-5:2013). Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к инъекционно-уплотняющим составам и уплотнениям трещин, полостей и расщелин.
- Пневматический инъекционный насос UNIPRESS D4. – URL: <https://injekt.ru/pumps/unipress-d4.html> (дата обращения: 31.03.2023).
- Электрический мембранный инъекционный насос LM-Injekt. – URL: <https://injekt.ru/pumps/lm-injekt.html> (дата обращения: 31.03.2023).
- Инструкция по устройству инъекционной гидроизоляции при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: методическое пособие / Минстрой России. ФАУ «ФЦСС». – 2017.
- Bundesanstalt für Straßenwesen. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING. – Bergisch Gladbach, 2003. – URL: <https://docplayer.org/112335596-Bundesanstalt-fuer-strassenwesen-zusaetzliche-technische-vertragsbedingungen-und-richtlinien-fuer-ingenieurbauten-ztv-ing.html> (дата обращения: 31.03.2023).
- ÖVBB-Richtlinie «Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton» ist die Richtlinie «Injektionstechnik - Teil 1: Bauten aus Beton und Stahlbeton» – 2007. – URL: <https://www.bautechnik.pro/Shop/Artikel?IDArtikel=9bd18b88-59cb-4306-a906-5ad273685c80> (дата обращения: 31.03.2023).

Для связи с авторами:

Олег Борисович Крымов, Krymov-Oleg0011@yandex.ru



Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Научные статьи аспирантов публикуются бесплатно.

УЧРЕДИТЕЛИ

ООО «Малое инновационное предприятие «Технопарк МАДИ» (ООО «МИП «Технопарк МАДИ»)

Региональная общественная организация «Научно-техническая ассоциация ученых и специалистов транспортного строительства» (РОО «НТАУиСТС»)

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИЗДАТЕЛЬ

ООО «МИП «Технопарк МАДИ»
Ген. директор – Васильев Ю.Э.
Тел.: +7-903-750-03-77
yu.vasilev@mipmadi.ru

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

САКУН Б.В. – председатель
АБДРАХМАНОВ С.С.
БАСИН Е.В.
ВАСИЛЬЕВ Ю.Э.
КОГАН Р.А.
ПОЛИЩУК Н.А.
САЛИМОНОВ А.А.
ШМИДТ В.И.
ЮМАШЕВ В.М.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ВАСИЛЬЕВ Ю.Э. – главный редактор

АКСЕНОВ В.А.
АШПИЗ Е.С.
БУСЕЛ А.В.
ДЕМЬЯНУШКО И.В.
ЖУСУПБЕКОВ А.Ж.
ЗЫЛЁВ В.Б.
КОРОЛЁВ Е.В.
КОСМИН В.В.
КРУГЛОВ В.М.
ЛУЦКИЙ С.Я.
МАЗЕИН С.В.
МЕРКИН В.Е.
ТРОФИМЕНКО Ю.В.
УШАКОВ В.В.
ШЕПИТЬКО Т.В.
ЯДЫКИНА В.В.
ЯКУБОВИЧ А.Н.

РЕДАКЦИЯ

125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 64, ООО «МИП «Технопарк МАДИ»
E-mail: ictrs@mail.ru, http://www.tc-journal.ru

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

ВАЛЕЕВА Н.В., КОСМИНА А.А.
ПЕТРОВА Н.Е., САЛИМОНОВ А.А.

ДИЗАЙН И ВЕРСТКА

СЕРГЕЙ ЗГОДА

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР

ПЕТРОВА Н.Е.

Свидетельство о регистрации СМИ:
ПИ № ФС77-83286 от 03.06.2022.

Подписной индекс: 70976

по Объединенному каталогу
«Пресса России».

Подписано в печать: 23.06.2023

Отпечатано: ТЕХПОЛИГРАФЦЕНТР
125319, г. Москва, ул. Усиевича, д. 8
Тираж 1000 экз.

RU

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научно-технический и производственный журнал
Основан в 1931 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Переселенков Г.С.
Надежность и доступность севера Дальнего Востока как фактор развития единой транспортной системы России (I часть)

НОВОСТИ И СОБЫТИЯ

Новые участки федеральной трассы «Дон»

МОСТОСТРОЕНИЕ

Анисимов А.В., Коваленко Н.А., Гурчев А.В.
Актуальность и перспективы развития метода усиления балочных железобетонных мостов накладной плитой

Швец Я.А.

Совершенствование методики определения грузоподъемности столбчатых опор железнодорожных мостов (I часть)

Каменских А.Н., Кочетков А.В., Валиев Ш.Н., Чижиков И.А.

Устройство напыляемой полимерной гидроизоляции при ремонте мостовых сооружений

ТОННЕЛЕСТРОЕНИЕ

Меркин В.Е., Устинов Д.В., Хохлов И.Н.
Способы усиления тоннельных обделок и оценка их эффективности

Новак Ю.В., Шевченко А.А., Баутдинов Д.Т.
Выбор оптимальной сетки конечных элементов при исследовании напряженно-деформированного состояния транспортных тоннелей

ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Козиков И.О., Лупанов А.П., Силкин В.В., Суханов А.С.
Влияние асфальтового гранулята и дефлегматоров на подвижность литых асфальтобетонных смесей

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кобидзе Т.Е., Крымов О.Б., Конохов Д.С., Слабодкин А.А., Арнольд Генрих
Области применения однокомпонентных гидроактивных полиуретановых пен и гелей в метростроении

КНИЖНАЯ ПОЛКА

Космин В.В.
Геотехнический мониторинг в строительстве

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Штефан Ю.В., Абдуллаев А.Р.
Структурно-логические основы расчета надежности технологической линии дробильно-сортировочного оборудования для производства кубовидного щебня в условиях Таджикистана

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Маковский Л.В., Кравченко В.В.
Аварийные ситуации в строящихся тоннелях, вызванные пожарами и возгораниями

НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ

Юбилейная конференция «Основания и фундаменты: современные технологии, специальная техника, оборудование и материалы»

EN

TRANSPORT CONSTRUCTION

Science, Technology and Practice Magazine
Founded in 1931

CONTENTS

TRANSPORTATION SYSTEMS

Pereselenkov G.S.
Reliability and accessibility of the north of the Far East as a factor in the development of Russia's unified transport system (I part)

NEWS AND EVENTS

New sections of the Don federal highway

BRIDGE ENGINEERING

Anisimov A.V., Kovalenko N.A., Gurchev A.V.
Relevance and prospects for the development of the method of reinforcing girder reinforced concrete bridges with an overhead slab

Shvets Y.A.

Improvement of the methodology for determining the load bearing capacity of bridge abutment of railway bridges (I part)

Kamenskikh A.N., Kochetkov A.V., Valiev Sh.N., Chizhikov I.A.

Arrangement of sprayed polymer waterproofing for repair of bridge structures

TUNNELLING

Merkin V.E., Ustinov D.V., Khokhlov I.N.
Evaluation of metal insulation efficiency for tunnel lining reinforcement

Novak Yu.V., Shevchenko A.A., Bautdinov D.T.
Choice of optimal finite element mesh in investigation of stress-strain state of transport tunnels

HIGHWAY ENGINEERING

Kozikov I.O., Lupanov A.P., Silkin V.V., Sukhanov A.S.
Influence of asphalt granulate and deflagmators on mobility of cast asphalt concrete mixtures

CONSTRUCTIONAL MATERIALS

Kobidze T.E., Krymov O.B., Konyukhov D.S., Slabodkin A.A., Arnold Heinrich
Area of applications for single-component hydroactive polyurethane foams and gels in underground construction

BOOKSHELF

Cosmin V.V.
Geotechnical monitoring in construction

ROAD CONSTRUCTION MACHINERY

Shtephan Y.V., Abdullayev A.R.
Structural and logical bases of calculation reliability of the crushing and screening machines producing lines for the cub-form crushed stone production in Tajikistan

INTERNATIONAL PRACTICES

Makovsky L.V., Kravchenko V.V.
Emergencies in tunnels under construction caused by fires and ignitions

SCIENTIFIC CONFERENCES

Anniversary conference 'Foundations and Fundamentals: state-of-the-art Technologies, special equipment, equipment and materials'

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических данных, собственных имён, ссылок на литературные источники и других сведений. Гонорары авторам не выплачиваются. Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов публикуемых материалов.

В розничную сеть журнал не поступает. Цена свободная.