

DOI: 10.12737/22879

Матвеева Л.Ю., д-р техн. наук, проф.
Кукса П.Б., канд. техн. наук, доц.,
Ефремова М.А., аспирант

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Ястребинская А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

НОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ГЕРМЕТИКИ С ДЕМПФЕРНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ УРЕТАНОВОГО ФОРПОЛИМЕРА

karanna1@mail.ru

На основе синтетического каучука – химически модифицированной уретановой матрицы (форполимера) и аминного отвердителя разработаны составы отечественных строительных демпферных герметиков с высокими физико-механическими характеристиками в сочетании с высокой адгезией к бетону и стали, низким водопоглощением, высокой коррозионной стойкостью.

Полимерная матрица герметика представляет собой двухкомпонентную систему, отверждение которой осуществляется в естественных условиях в присутствии катализатора аминного типа. Полиуретановые герметики серии «Трифор» представляют собой композиции на основе уретанового каучука с функциональными группами, обеспечивающими хорошую адгезию к бетону и стали. Герметики предназначены для гидроизоляции и заделки швов, трещин, глубоких раковин в бетонных и железобетонных конструкциях, испытывающих вибрирующую и прочую механическую нагрузку. Разработанные наполненные демпфирующие и гидроизолирующие строительные композиционные материалы удовлетворяют всем требованиям строительства, предъявляемым к материалам данного класса.

Ключевые слова: уретановый форполимер, герметик, наполненный композиционный материал, адгезия, прочность, водопоглощение.

Введение. Полиуретановые каучуки обладают наилучшими сочетаниями показателей эластичности и твердости и безупрочности в течение длительного срока службы. Кроме того, обладая великолепной эластичностью, полиуретановые герметики лучше других уплотнительных материалов противостоят истиранию, проколу, разрыву, т.е. удовлетворяют важнейшим требованиям к герметизирующим средствам для бетонных плит и панелей. Герметики на основе полиуретанов обладают также относительно неплохой адгезией (сцеплением) к большинству строительных материалов, и в частности, к бетону, которую можно повысить введением в уретановую матрицу соответствующих функциональных групп [1]

Строительный рынок предлагает сегодня множество вариантов демпферных и герметизирующих покрытий по бетону и герметизации швов в бетонных конструкциях, в том числе и полиуретановых [2–4]. Предлагаемые материалы и системы отличаются не только функциональными возможностями, но и стоимостью. В такой ситуации проектировщики и строители все чаще сталкиваются с проблемой выбора вида продукции, максимально соответствующей назначению и требуемым свойствам.

В строительстве герметики на основе синтетических эластомеров используются для:

- обеспечения защиты швов от проникновения воды и агрессивных сред;
- обеспечения защиты швов от засорения и выполнении ремонта при выкрашивании краев;
- предотвращения разрушения шва от транспортных и механических нагрузок;
- компенсации вибрационных нагрузок и т.п.

Области применения: бетонные полы объектов любых назначения: склады, холодильники, производства, ТРЦ, гипермаркеты, паркинги, уличные площадки и пр.

Например, при устройстве бетонного пола предусмотрена нарезка и устройство швов, тем самым, обеспечивается минимизация трещинообразования при твердении бетона и эксплуатации всей конструкции из бетона или железобетона [5, 6].

Герметик – особенный строительный материал, предназначенный для выполнения надежной защиты от переувлажнения и механического разрушения стыков строительных конструкций. На качество работ по выполнению герметизации швов и стыков строительных конструкций влияет множество факторов, которые иногда не зависят напрямую от используемого материала и исполнителя: стабильная температура в помещении (как правило не ниже 10°C), отсутствие сквозняков, протечек воды, смежных строитель-

ных операций в зоне работ, наличие эффективного освещения площадки и т.д.

На сегодняшний день на рынке строительных материалов преобладают импортные герметики. Обладая хорошей эластичностью, полиуретановые герметики лучше других уплотнительных материалов противостоят истиранию, проколу, разрыву, т.е. удовлетворяют важнейшим требованиям к герметизирующим средствам [7–10].

Цель работы и постановка задач исследований

Основанием данной разработки служит стратегия импортозамещения зарубежных строительных материалов и составов и повышение эффективности имеющихся на рынке отечественных материалов и продуктов строительного назначения.

Целью работы было разработать серию эффективных составов отечественных строительных уретановых герметиков многофункционального назначения, определив их основные характеристики и эксплуатационные свойства и предложить строительству, снабдив рекомендациями по назначению и конкретным видам применения в строительстве.

Потенциальные возможности сравнительного нового класса эластомерных материалов на основе полиуретанов далеко еще не полностью исчерпаны. Новые предложения по сырью систематически оптимизируют составы в соответствии с растущими потребностями современного строительства. И хотя ранее уже были разработаны составы и установлены основные характеристики строительных полиуретановых материалов и композиций для гидроизоляции и устройства демпферных швов и покрытий, новые экономические рыночные условия и новые требования, предъявляемые к современным строительным материалам, потребовали суще-

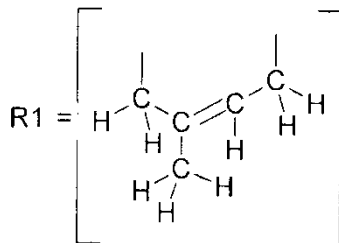
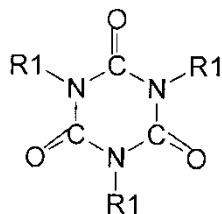
ственных изменений и улучшения прежних разработок.

В качестве универсальной полимерной основы – связующей каучуковой матрицы нами был выбран класс уретановых форполимеров с концевыми функциональными изоцианатными группами (марки «Трифор», разработанный в ФГУП «НИИСК», г. Санкт-Петербург) в паре с аминным инициатором реакции полимеризации (марки УП-606/2). Данный тип полимерной основы для эффективного строительного герметика выбран нами не случайно. Благодаря полиуретановым соединениям, которые твердеют под воздействием влаги воздуха, наполненный материал также обеспечивает высокую герметичность соединений, имеет исключительную стойкость к вибрации и различным воздействиям окружающей среды. По эластичности полиуретановым герметикам нет равных, кроме того, он очень быстро затвердевает, что тоже важно при выполнении строительных, ремонтных и монтажных работ.

Состав материалов и методика приготовления образцов композиций

В качестве связующего в композициях использован каучук полиуретановый марки «Трифор», который представляет собой форполимер, а конкретнее – продукт взаимодействия диизоцианата с простым полиэфиром, выпускаемый по ТУ 38.403809-95. Благодаря сочетанию адгезионных, прочностных и демпфирующих свойств материалы на основе полиуретанового каучука особенно эффективны и рекомендуются для использования в виброустойчивых строительных конструкциях.

В результате взаимодействия изоцианатуретана с Алкофеном образуется трехмерный полимер, в котором радикал представляет собой полибутадиеновый углеводород, общей формулы:



1. Каучук ФП-65 (уретановый форполимер марки «Трифор» с концевыми изоцианатными группами), представляет собой вязкую светложелтую тягучую жидкость.

2. Катализатор полимеризации – третичный амин марки УП-606/2, прозрачная маловязкая жидкость: навеска ~ 1 % масс. УП-606/2. Продукт известен на рынке под торговыми марками УП-606/2 и «Алкофен» и представляет собой

индивидуальное химическое вещество формулы 2,4,6-трис(деметиламино)(метил)фенол. Его функция заключается в иницировании и ускорении реакции тримеризации форполимера, поэтому его точное количество в составе реагентов не очень важно.

3. Различные минеральные наполнители: молотый кварцевый песок, Аэросил, мел, тальк и др.

Образец №1 – ненаполненная полиуретановая матрица.

В образец №2 дополнительно введен наполнитель Аэросил в количестве 2,5 % масс. по отношению к связующему с целью увеличения вязкости композиции. Такую наполненную композицию возможно наносить шпателем на вертикальную или наклонную поверхность конструкции.

С целью снижения себестоимости наполнителя (и конечного материала в целом) наполнитель Аэросил заменен на молотый кварцевый

песок. Учитывая большую разницу дисперсности и, следовательно, суммарной поверхности частиц наполнителей, количество наполнителя в виде кварцевой муки взято – 40 % масс., при том, что растекаемость (вязкость) состава была приблизительно такой же, как и в образце №2. Композиция и образцы (состав №3) были приготовлены аналогичным образом, что и образцы предыдущих составов – №№1 и 2.

Массовый состав лабораторных образцов некоторых композиций полиуретанового герметика представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав композиции и навески при изготовлении лабораторных образцов герметика

№п/п	Компоненты состава	Состав №1, г	Состав №2, г	Состав №3, г	Примечание
1	Каучук ФП-65	20,4	20,4	20,4	Эластомер
2	Катализатор УП-606/2	~0,2	~0,2	~0,2	Инициатор
3	Аэросил	-	0,52	-	Наполнитель
4	Кварцевый песок молотый	-	-	8,0	Наполнитель

Компоненты состава взвесили на электронных аналитических весах, перемешали вручную в пластиковом стаканчике стеклянной палочкой, залили во фторопластовые формы в виде параллелограммов: 100×40×2 по 2 шт. каждого образца.

Отверждение осуществляли при комнатной температуре в течении суток. Из полученных

образцов с помощью вырубного ножа были изготовлены образцы в форме лопаточек, всего по 4 шт. лопаточки каждого образца, которые испытывали на физико-механические показатели на разрывной машине согласно ГОСТ 269-66. Температура испытаний – 22 °С. Результаты определения прочностных характеристик композиций герметика представлены в таблице 2.

Таблица 2

Прочностные характеристики образцов полиуретанового герметика

№ образца	Модуль при 100 % растяжении, кг/см ²	Прочность при разрыве, $\sigma_{\text{разр.}}$ кг/см ²	Относительное удлинение при разрыве, %	Остаточное удлинение при разрыве, мм/%	Твердость по Шору(А)
1	10	20	240	1	48
2	9	14	190	2	49
3	16	16	100	0	56

Обсуждение результатов испытаний. При сравнении полученных характеристик образцов было замечено, что введение в состав композиции наполнителя Аэросила в количестве ~2,5 % масс. привело к некоторому ожидаемому, но, в то же время, не значительному снижению прочности (с 20 до 14 МПа) и уменьшению удлинения при разрыве (с 240 до 190 %). Это практически не повлияло на остальные характеристики материала (модуль при 100 % удлинении, остаточное удлинение после разрыва и твердость по Шору остались на прежнем уровне с учетом погрешности опытов). В результате проведенных испытаний можно считать, что эксплуатационные физико-механические свойства наполненных Аэросилом ~ 25 % масс. образцов (состав №2) практически будут идентичны свойствам не наполненных образцов.

Прочностные характеристики композиции (прочность при разрыве и относительное удлинение) в образце №3 несколько снизились в результате замены Аэросила на молотый кварцевый песок. Но, тем не менее, основные прочностные характеристики остались на достаточно высоком уровне, вполне удовлетворяющем требованиям строительства для данных материалов. При этом, с точки зрения стоимости композиционного материала, важно, что нами было исключено содержание довольно дорогостоящего наполнителя Аэросил.

Адгезия герметика к поверхности бетона является одной из важнейших характеристик. Испытания образцов полиуретанового герметика на адгезионную прочность по отношению к поверхности бетона и стали проводили с помощью специально предназначенной для этих це-

лей испытательной машине PROCEQ SA ZURICH SWITZERLAND Z 25, производства Швейцарии.

Для испытаний были приготовлены 4 образца: 2 образца соединений бетон-герметик-сталь и 2 образца соединений бетон-герметик-эпоксидный клей-сталь. На бетонную плиту размерами 40x25см² толщиной 35 мм методом свободного налива нанесли испытуемый герметик, толщина слоя ~3 мм.

1. Образцы соединений бетон-герметик-сталь, 2 шт. (№№ 1.1 и 1.2).

На поверхность неотвержденного герметика сверху установили металлические пластины – фиксаторы с резьбой, представляющие собой параллелограммы квадратной формы размерами 25 см² и толщиной 12 мм с резьбой в центре для фиксации штифта. Бетонную плиту с герметиком и уложенными на него металлическими пластинами оставили для отверждения на 3 суток. Отверждение происходило при комнатной температуре.

2. Образцы соединений бетон-герметик-эпоксидный клей-сталь, 2 шт. (№№ 2.1. и 2.2.).

После полного отверждения герметика в течение 3-х суток на зашкуренную с помощью наждачной бумаги поверхность герметика нанесли эпоксидный клей и установили металлические пластины, как и в случае образцов № 1. Клеевое соединение оставили для полимеризации на 3 суток.

Испытания на отрыв всех образцов проводили одновременно. Для этого на поверхность бетонной плиты установили отрывную машину

с ручным червячным приводом. Штанги соединили с помощью зажимов с червячным ручным приводом, соединенным также со стрелочным круговым динамометром. Отрыв производили вращением вручную ручки привода, при этом отклонение стрелки динамометра указывало усилие при отрыве. Окончательное усилие отрыва фиксировали в момент полного отрыва стальной пластины от поверхности бетонной плиты с образцами.

В результате проведенных испытаний установлено следующее.

1. Образцы 1.1 и 1.2 (соединение бетон-герметик-сталь). Отрыв герметика от поверхности бетона произошел с вырывом частиц бетона (до 20 %). При этом полиуретановый герметик от поверхности металлической пластины не оторвался и полностью покрывал стальную пластину без видимых повреждений. Слой герметика на металле составил ~1 мм, он сформировался под действием силы тяжести стальной пластины при ее погружении в жидкий герметик.

2. Образцы 2.1 и 2.2 (соединение бетон-герметик-эпоксидный клей-сталь).

Отрыв каучука произошел по клеевому соединению: эпоксидный клей – герметик. При этом замечены отслоения герметика и от поверхности бетона, но в отдельных местах и не более, чем на 15–20 % суммарно. Также на поверхности герметика остались локальные вырывы частиц бетона, размером до 20–25 % поверхности.

Адгезионные характеристики образцов (прочность на отрыв) представлены в таблице 3.

Таблица 3

Адгезионные характеристики полиуретанового герметика

№ п/п	Наименование образца (вид соединения и характер отрыва)	Усилие отрыва по шкале, КН	Адгезионная прочность, $\frac{\text{Кгс/см}^2}{\text{МПа}}$	Среднее значение прочности «на отрыв», $\frac{\text{Кгс/см}^2}{\text{МПа}}$
1.1	Бетон-герметик-сталь, (отрыв по бетону)	2,7	$\frac{10,8}{1,0}$	$\frac{9,3}{0,9}$
1.2	Бетон-герметик-сталь (отрыв по бетону)	1,95	$\frac{7,8}{0,8}$	
2.1	Бетон-герметик-эпоксидный клей-сталь, (отрыв по клеевому эпоксидному слою с частичным вырывом бетона)	2,25	$\frac{9,0}{0,9}$	$\frac{8,4}{0,85}$
2.2	Бетон-герметик-эпоксидный клей-сталь, (отрыв по клеевому эпоксидному слою с частичным вырывом бетона)	1,95	$\frac{7,8}{0,8}$	

Исследование адгезионных характеристик герметика по отношению к бетону методом на отрыв показало, что соединение полиуретанового герметика с бетоном прочнее, чем его соединение с эпоксидным клеем. Отрыв образцов №2 произошел по клеевому эпоксидному соединению с герметиком с вырывом частиц бетона – до

20–25 % поверхности. Прочность соединения полиуретановый герметик–эпоксидный клей составила ~ 0,85 МПа.

Соединение герметика со сталью оказалось еще более прочное, чем с бетоном, численно его установить не удалось, т.к. отрыв образца произошло по бетону с вырывом его частиц (до

20 % поверхности). При этом отслоений полиуретанового герметика от стальной пластины не было замечено, так же, как и нарушений целостности слоя герметика на стальной пластине. Прочность соединения бетон–герметик составила ~ 0,9 МПа.

Определение водопоглощения образцов полиуретанового герметика

Водопоглощение материала, предназначенного для заделки и герметизации швов бетонных и прочих строительных конструкций имеет важнейшее значение. От этого показателя зависят морозостойкость и долговечность материала герметизируемого шва. При большом водопоглощении происходит набухание материала с его последующим отслоением от поверхности конструкции, особенно в сочетании с механическими нагрузками и при резких температурных перепадах.

Для определения водопоглощения полиуретановых образцов и наполненного композиционного материала были взяты образцы в возрасте не менее 3-х недель в количестве по 3-х шт. размерами 50×20мм² прямоугольной формы.

Испытания проводили по ГОСТ 4650-80. Испытания проводили без предварительной выдержки в термостате при комнатной температуре. Термостатировать образцы не было необходимости, т.к. они более 3-х недель до момента проведения испытаний хранились в лабораторных условиях при комнатной температуре. Выдержка образцов в дистиллированной воде составила 24 часа.

Данные о весовых характеристиках образцов в результате проведенных испытаний на водопоглощение представлены в таблице 4.

Таблица 4

Водопоглощение образцов полиуретанового герметика

№ п/п	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Среднее значение, %
Масса образца до выдержки в воде, г	1,3590	1,2056	1,0429	0,48
Масса образца после выдержки в воде 1 сутки, г	1,3665	1,2100	1,0485	
Водопоглощение, %	0,55	0,36	0,54	

Из данных таблицы 4 следует, что ненаполненный образец полиуретанового герметика имеет водопоглощение не более 0,55 % масс., наполненный Аэросилом – 0,36 %, наполненный молотым кварцевым песком – 0,54 %. Таким образом, установлено, что использованные нами минеральные наполнители не ухудшают этот показатель, а в случае Аэросила даже улучшают. Это связано, по-видимому, с формированием более плотной надмолекулярной структуры полиуретановой матрицы под влиянием очень развитой и весьма активной поверхности частиц Аэросила.

Таким образом, в результате проведенных исследований по разработке составов демпферного строительного герметика на основе полиуретанового тримера с функциональными изоцианатными группами можно заключить, что полученный материал удовлетворяет требованиям строительства, предъявляемым к материалам данного назначения по физико-механическим, адгезионным характеристикам и водопоглощению и может вполне применяться по своему назначению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Майер-Вестус У. Полиуретаны. Покрyтия, клеи и герметики / Пер. с англ. Л.Н. Машляковского, В.А. Бурмистрова. М.: Пейн-Медиа, 2009. 400 с.
2. Михеев В.В. Неизоцианатные полиуретаны. Казань: КНИТУ (КГТУ), 2011. 292 с.
3. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Овсянников С.В. Антикоррозионная защита мостовых сооружений. Саратов: Центр «Наука», 2007.– 192 с.
4. Болтон У. Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты: Карман ный справочник. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. 315 с.
5. Райт П., Камминг А. Полиуретановые эластомеры / Пер. с англ. под ред. Н.П. Апухтиной. Л.; М.: Химия, 1973. 304 с.
6. Липатов Ю.С., Керча Ю.Ю., Сергеева Л.М. Структура и свойства полиуретанов. Киев: Наукова думка, 1970. 280 с.
7. Bayer O. Das Di-Isocyanat-Polyadditionsverfahren (Polyurethane). Angewandte Chemie. 1947. Vol. 59. Is. 9, pp. 257–272.
8. Bock M., et al. Globalisierung der Fahrzeugindustrie – eine Herausforderung bei der Lackrohstoffentwicklung. Farbe und Lack, 1996. Vol. 102 (9), pp. 132–140.

9. Bock M., Meiss H.U. Meier-Westhues. Globalisierung aus Sicht eines Lackrohstoffproduzenten. DFO-Automobiltagung. September 1998. Weimar, Berichtsband.

10. The polyurethanes book. Ed. by Randall D., Lee S. Wiley. 2003. 477 p.

Matveeva L.Yu., Kuksa P.B., Efremova M.A., Yastrebinskaya A.V.

NEW CONSTRUCTION SEALANTS WITH DAMPING PROPERTIES ON THE BASIS OF URETANOVOGO FORPOLIMER

On the basis of synthetic rubber – chemically modified uretanovy matrix (forpolimer) and an aminny hardener compositions of domestic construction damping sealants with high physicomechanical characteristics in combination with high adhesion to concrete and steel, low water absorption, high corrosion resistance are developed.

The polymeric matrix of sealant represents two-component system which hardening is carried out under natural conditions in the presence of the catalyst of aminny type. Polyurethane sealants of the Trifor series represent compositions on the basis of uretanovy rubber with the functional groups providing good adhesion to concrete and steel. Sealants intend for a waterproofing and seal of seams, cracks, deep sinks in the concrete and reinforced concrete designs experiencing the vibrating and other mechanical strain. The construction composite materials developed filled damping and waterproofing meet all requirements of construction imposed to materials of this class.

Key words: *an uretanovy forpolimer, sealant, the filled composite material, adhesion, durability, water absorption.*

Матвеева Лариса Юрьевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии строительных материалов и метрологии
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
Адрес: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4
E-mail: lar.ma2011@yandex.ru

Кукса Петр Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов и метрологии
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
Адрес: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Ефремова Мария Александровна, аспирант кафедры технологии строительных материалов и метрологии
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
Адрес: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Ястребинская Анна Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: karanna1@mail.ru