

УДК 666.972.691.175

ВЛИЯНИЕ ДИФфуЗИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРБЕТОНА

ГАННИК Н. И.,¹ к.т.н., доц.НЕСЕВРЯ П. И.,² к.т.н., доц.ПАПИРНИК Р. Б.,³ к.т.н., доц.МАРТЫШ А. П.,⁴ к.т.н., доц.

¹ Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5776-339X

² Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nesevrya1962@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2371-7381

³ Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0652) 47-37-80, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

⁴ Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martysh55@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2400-1924

Аннотация. Цель. Исследования влияния диффузионной проницаемости на коррозионную стойкость полимербетона. **Методика.** В качестве материала были выбраны фурановые полимербетоны на основе мономера ФА и ФАМ. В наших исследованиях проводилось определение кинетики и величины диффузионного проникания раствора серной кислоты (в диапазоне 5-30%) и воды в отвержденные ненаполненные связующие, полимермастики и полимербетоны. Коэффициент диффузии определяли на образцах-дисках для ненаполненных связующих и полимермастик d=50 мм, толщиной 3-5 мм; для полимербетонов - d=150 мм, толщиной 20-40 мм. Перед нагружением образцов в агрессивные среды образцы взвешивали с точностью до 0,01 г. Через 3,7,14,21 суток, 1,3,6,9,12 месяцев образцы вынимали из агрессивных сред, промывали дистиллированной водой, осушали фильтровальной бумагой и взвешивали. Взвешивание проводили до достижения образцами постоянного значения массы. **Результаты.** С увеличением концентрации агрессивных сред время проникания их в полимербетоны увеличивается. Вода с точки зрения диффузии является более активной жидкостью по сравнению с растворами кислот. Проницаемость полимербетонов на щебне из боя кислотоупорного кирпича меньше чем полимербетонов на гранитном щебне. Коэффициент диффузии полимербетонов выше, чем коэффициент диффузии полимермастик, а коэффициент диффузии образцов на модифицированных фурановых смолах ниже, чем на мономере ФА. **Научная новизна и практическая значимость.** Совмещение мономеров ФА и ФАМ с более дешевыми и доступными полимерами, является одним из путей расширения сырьевой базы для производства связующих и снижения стоимости полимербетонов. Перспективным в этом отношении есть совмещение фурановых смол с отходами коксохимического производства – кислой смолкой (отходы производства цехов ректификации сырого бензола).

Ключевые слова: коррозия; полимербетон; кирпич; диффузионная проницаемость; щебень; агрессивная среда

ВПЛИВ ДИФУЗІЙНОЇ ПРОНИКНОСТІ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ ПОЛІМЕРБЕТОНУ

ГАННИК М. І.¹, к.т.н., доц.НЕСЕВРЯ П. І.², к.т.н., доц.ПАПІРНИК Р. Б.³, к.т.н., доц.МАРТИШ О. П.⁴, к.т.н., доц.

¹ Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5776-339X

² Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nesevrya1962@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2371-7381

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-37-80, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

⁴ Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martysh55@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2400-1924

Анотація. Мета. Дослідження впливу дифузійної проникності на корозійну стійкість полімербетону. **Методика.** В якості матеріалу були відібрані фуранові полімербетони на основі мономеру ФА та ФАМ. У наших досліджень було проведено визначення кінетики і величини дифузійної проникливості розчину сірчаної кислоти (в діапазоні 5-30%) і води в загартовані незаповнені в'язучі, полімермастики та полімербетони. Коефіцієнт дифузії визначали на зразках-дисках для незаповнених в'язучих та полімермастик $d = 50$ мм, товщиною 3-5 мм; для полімербетонів - $d = 150$ мм, товщиною 20-40 мм. Перед навантаженням зразків в агресивні середовища, зразки зважували з точністю 0,01 г. Через 3, 7, 14, 21 днів, 1, 3, 6, 9, 12 місяців зразки були виїняті з агресивного середовища, промиті дистильованою водою, висушені фільтрувальним папером та зважені. Зважування проводилось до досягнення зразками постійного значення ваги. **Результати.** З ростом концентрації розчину агресивних середовищ час проникнення їх в полімербетони збільшується. Вода з точку дифузії є більш активною рідиною в порівнянні з розчинами кислот. Проникність полімербетонів на щебні із бою кислототривкої цегли менша чим полімербетонів на гранітному щебні. Коефіцієнт дифузії полімербетонів вище, ніж коефіцієнт дифузії полімермастик, а коефіцієнт дифузії зразків на модифікованих фуранових смолах нище, чим на мономер ФА. **Наукова новизна і практична значимість.** Поєднання мономерів ФА і ФАМ з більш дешевшими і доступними полімерами, є одним із способів розширення сировинної база для виробництва в'язучих і зниження вартості полімербетонів. Перспективним в цьому відношенні є поєднання фуранової смоли з відходів коксохімічних виробництв – кислото смолою (відходи від виробництва цехів ректифікації сирого бензолу).

Ключові слова: корозія; полімер бетон; цегла; дифузійна проникність; щебінь; агресивне середовище

THE EFFECT OF DIFFUSIVE PERMEABILITY ON THE CORROSION RESISTANCE OF POLYMER CONCRETE

GANNIK N. I., ¹ Ph. D., Assos.prof.,
NESEVRYA P. I., ² Ph. D., Assos.prof.,
PAPIRNYK R. B., ³ Ph. D., Assos.prof.,
MARTISH O. P., ⁴ Ph. D., Assos.prof.

¹ Department of Building Technology, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevsky str., 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5776-339X

² Department of Building Technology, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevsky str., 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nesevrya1962@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2371-7381

³ Department of Building Technology, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevsky str., 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-37-80, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

⁴ Department of Building Technology, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevsky str., 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martysh55@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2400-1924

Annotation. Purpose. Investigation of the diffusion permeability effect on the corrosion resistance of polymer concrete. **Methodology.** As a material we've chosen furan polymer concrete based on the monomer FA and FAM. In our studies, we determined the kinetics and values of the diffusion penetration of a sulphuric acid solution (in the range of 5-30%) and water into cured unfilled binders, polymer mastics and polymer concrete. The diffusion coefficient was determined on sample disks for unfilled binders and polymer mastics $d = 50$ mm, thickness 3-5 mm; for polymer concrete $d = 150$ mm, thickness 20-40 mm. Before putting the samples into aggressive media, they were weighed accurate to within 0.01 g. After 3,7,14,21 days, 1,3,6,9,12 months, samples were taken out of corrosive media, washed with distilled water, drained with a filter paper and weighed. Weighing was carried out until the samples reached a constant mass value. **Results.** With increasing aggressive media concentration the time of its penetration into the polymer concrete increases. Water in terms of diffusion is more active liquid in comparison with acid solutions. The permeability of polymer-ones on rubble from the battle of acid-resistant brick is less than that of polymer concrete on granite crushed stone. The diffusion coefficient of polymer concrete is higher than the diffusion coefficient of polymer mastics, and the diffusion coefficient of samples on modified furan resins is lower than on the monomer FA. **Scientific novelty and practical significance.** The combination of FA and FAM monomers with cheaper and more accessible polymers is one of the ways to expand the raw material base for the binders production and reduce the cost of polymer concrete. In this case the combination of furan resins with the waste of by-product coking - acidic tar (waste products from the distilleries of crude benzene) is promising.

Key words: corrosion; polymer concrete; brick; diffusion permeability; crushed stone; corrosive medium

Введение

Защитные действия антикоррозионных материалов определяются не только их химической стойкостью и величиной адгезии полимерного материала к защищаемым поверхностям, но также и скоростью диффузии агрессивных веществ через слой полимера. Механизм диффузионного переноса жидкостей через полимербетон мало изучен.

Из накопленного опыта исследования коррозионной стойкости полимерных композиций можно установить, что одним из основных достоинств бетонов на полимерных связующих по сравнению с цементными бетонами является их высокая сопротивляемость действию различных агрессивных сред и, что полимербетоны на термореактивных фурановых смолах относятся к самым стойким бетонам на полимерных связующих к действию агрессивных сред (кроме сильных окислителей и некоторых растворителей).

На коррозионную стойкость полимербетона существенное влияние оказывают наполнители и их дисперсность, поэтому они также должны обладать достаточной химической стойкостью в конкретных агрессивных средах. Кроме того основным условием получения полимербетонов с высокой химической стойкостью, является обеспечение плотной структуры органоминерального конгломерата с относительным количественным содержанием наполнителя.

Цель

Исследование влияния диффузионной проницаемости на коррозионную стойкость полимербетона.

Материал

Полимербетоны играют значительную роль в современной практике строительства. Среди полимербетонов, получаемых на различных термореактивных смолах (фурановых, эпоксидных, карбамидных, фенолформальдегидных), наибольшее распространение находят фурановые полимербетоны на основе мономера ФА и ФАМ. Фурановые связующие и полимербетоны на их основе обладают универсальной химической стойкостью в растворах кислот, щелочей, нефтепродуктах, животных жирах, растительных маслах и других средах, кроме некоторых растворителей и сильных окислителей.

Методика

Несмотря на то, что полимербетоны, полимеррастворы и полимермастики толщиной 1-3 см могут выдерживать давление воды в десятки атмосфер, однако их нельзя назвать непроницаемыми. В отличие от обычных цементных бетонов перенос вещества (влаги, растворов и др.) в полимербетонах имеет диффузионную природу, т.е. полимербетоны обладают способностью поглощать и

фильтровать через свою толщу различные жидкости за относительно длинное время.

Скорость движения жидкости в полимерах достаточно высока. Для массивных конструкций из полимербетона влияние диффузии жидкостей менее заметно, что для защитных облицовок конструкций и сооружений, работающих в агрессивных средах.

Согласно современным представлениям молекулы твердого полимера состоят из подвижных звеньев, расположенных в различных положениях друг относительно друга, плотно не соприкасающихся между собой. Молекула агрессивного вещества, проникнув в промежутки между звеньями и заполнив их, начинает двигать звенья цепей полимера. Сначала увеличивается расстояние между звеньями, а затем раздвигаются микромолекулы. В результате увеличивается объем, занимаемый набухающим полимером, и его масса. Процесс набухания прекращается после полного заполнения межмолекулярного пространства полимера. При этом в системе жидкость-полимер устанавливается подвижное равновесие.

Для количественной оценки диффузии агрессивной жидкости в полимерном материале наибольшее распространение получил сорбционный метод [1,2], сущность которого заключается в циклической регистрации скорости поглощения жидкости в плоских полимерных образцах, помещенных в агрессивную среду.

При погружении образца в жидкость, благодаря молекулярному тепловому движению, количество вещества Q переносится за время t через площадь образца S перпендикулярно сечению потока от места с большей концентрацией агрессивной жидкости к месту меньшей концентрации. При этом, наряду с диффузией, происходит сорбция диффундируемого вещества, растворения материала и его десорбция [2]. Движение жидкости длится до тех пор, пока не установится подвижное равновесие ее в образце. При воздействии на полимерные конструкции агрессивных сред проникновение среды в материал приводит к ухудшению упругих и прочностных свойств полимеров.

Степень воздействия агрессивных сред на полимер зависит от особенностей проникновения и взаимодействия их с полимером.

В наших исследованиях проводилось определение кинетики и величины диффузионного проникания раствора серной кислоты (в диапазоне 5-30%) и воды в отвержденные ненаполненные связующие, полимермастики и полимербетоны. Коэффициент диффузии определяли на образцах-дисках для ненаполненных связующих и полимермастик $d=50$ мм, толщиной 3-5 мм; для полимербетонов - $d=150$ мм, толщиной 20-40 мм. Перед нагружением образцов в агрессивные среды образцы взвешивали с точностью до 0,01 г. Через 3,7,14,21 суток, 1,3,6,9,12 месяцев образцы вынимали из агрессивных сред, промывали дистиллированной водой, осушали фильтровальной бумагой и взвешивали. Взвешивание

проводили до достижения образцами постоянного значения массы. Привес образцов определяли по формуле (1):

$$Q_i = \frac{m_i - m_0}{m_0} \cdot 100\%; \quad (1)$$

где m_i – масса образца до погружения в среду, г;
 m_0 – масса образца после циклического пребывания в агрессивной среде, г.

На рис. 1 и 2 показаны кинетики поглощения растворов H_2SO_4 (5- и 30 процентной концентрации) и воды H_2O образцами из ненаполненного мономера ФА и полимермастик, отвержденных при температуре $20 \pm 2^\circ C$.

Результаты

Вода с точки зрения диффузии является более активной жидкостью по сравнению с растворами кислот. В последних, с увеличением концентрации, скорость диффузионного проникания их в полимерные композиции и пределы насыщения значительно снижаются. После достижения равновесного состояния масса образцов, хранившихся в воде и в слабых растворах кислот, уменьшается. По-видимому, идет растворение неотвержденного мономера ФА и свободной бензолсульфокислоты. Наибольшее снижение массы имеют образцы, хранившиеся в воде.

В растворах с увеличением концентрации снижение массы образцов заметно уменьшается. В растворах серной кислоты 30-процентной концентрации образцы не теряют массу при длительных испытаниях, что можно объяснить дополнительной полимеризацией мономера ФА при каталитическом действии кислот указанной концентрации.

Для полимермастик, наполненных андезитовой мукой и мукой из боя кислотоупорного кирпича (состав 1:1 по массе), скорость диффузии растворов кислот и воды примерно в два раза выше, чем для ненаполненных композиций (Табл. 1 и 2).

Кинетика поглощения агрессивных жидкостей полимербетонами на основе мономера ФА и модифицированных фурановых смол показана на рис. 1, 2. Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением степени наполнения полимерных систем скорость проникания агрессивных жидкостей в них увеличивается.

Проницаемость полимербетонов на щебне из боя кислотоупорного кирпича меньше чем полимербетонов на гранитном щебне. Коэффициент диффузии полимербетонов выше, чем коэффициент диффузии полимермастик, а коэффициент диффузии образцов на модифицированных фурановых смолах ниже, чем на мономере ФА.

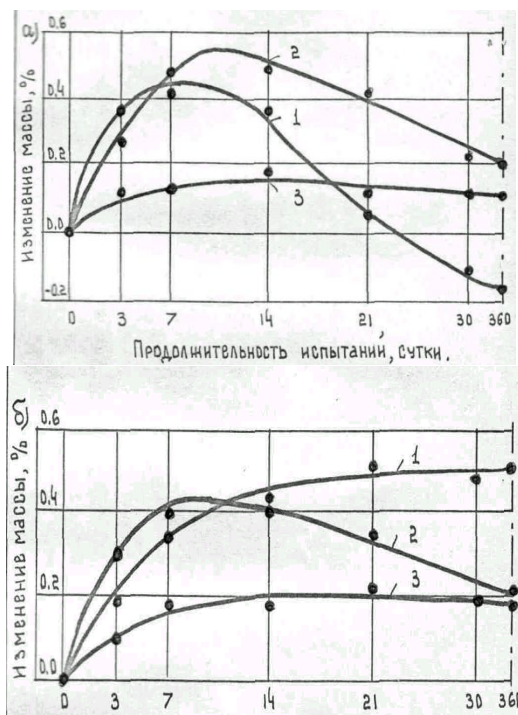


Рис. 1. Кинетика поглощения растворов H_2SO_4 и H_2O при $t=20 \pm 2^\circ C$: а) полимермастиками на мономере ФА и адгезитовой муке; б) то же на связующем ФАКС; 1 – 5% раствор H_2SO_4 ; 2 – H_2O ; 3 – 30%-ный раствор H_2SO_4 ./

Absorption kinetics of solutions of H_2SO_4 and H_2O at $t = 20 \pm 2^\circ C$: а) polimermastikami on the monomer, FA and adgezitovoj flour; б) the same for connecting FAX; 1-5% solution of H_2SO_4 ; 2- H_2O ; 3-30%-s ' solution of H_2SO_4

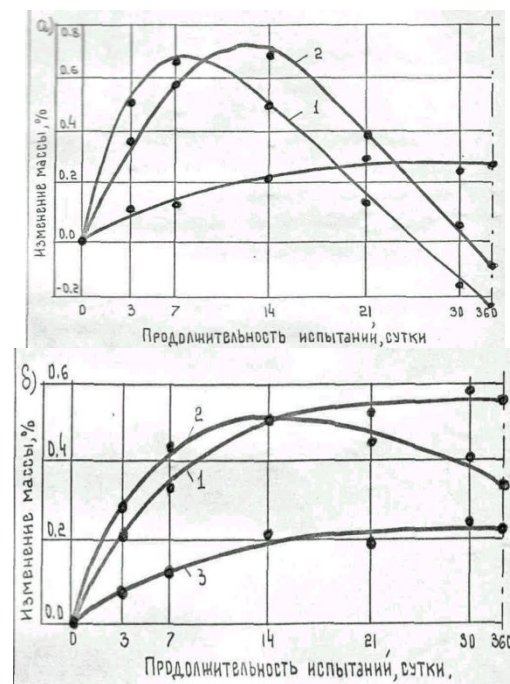


Рис. 2. Кинетика поглощения растворов H_2SO_4 , H_2O при $t=20 \pm 2^\circ C$: а) ненаполненным мономером ФА; б) то же на связующем ФАКС; 1 – 5% раствор H_2SO_4 ; 2 – H_2O ; 3 – 30%-ный раствор H_2SO_4 ./

Absorption kinetics of solutions of H_2SO_4 , H_2O at $t = 20 \pm 2^\circ C$: a) nenapolnennym monomer in F; b) the same for connecting FAX; 1-5% solution of H_2SO_4 ; 2- H_2O ; 3 - 30%-s ' solution of H_2SO_4

Таблица 1

Коэффициенты диффузии полимерных материалов на основе мономера ФА / Diffusion coefficients of polymer monomer-based materials in F

№ п/п	Среда	Концентрация	Коэффициент диффузии $D \cdot 10^{-8}$, см/с		
			Мономер ФА	Полимермастики	
				на андезитовой муке	на муке из боя кислотоупорного кирпича
1	H_2O	-	0,62	1,15	1,14
2	H_2SO_4	5	0,30	1,04	1,01
		30	0,03	0,20	0,19

По полученным, экспериментально, коэффициентам диффузии определяли время ($\tau_{диф}$) проникания агрессивной жидкости через защитный слой полимербетона на модифицированных фурановых смолах (табл. 3) по формуле (2):

$$\tau_{диф} = \frac{l^2}{n^2 \cdot D \cdot 3600}; \quad (2)$$

где l – толщина защитного слоя, см;
 D – коэффициент диффузии.

Таблица 2

Коэффициенты диффузии полимерных материалов на основе модифицированных фурановых смол / Diffusion coefficients of polymer materials based on modified furane resins

Среда	Концентрация	Модифицированная смола	Коэффициент диффузии $D \cdot 10^{-8}$, см/с	
			Полимермастики	
			на андезитовой муке	на муке из боя кислотоупорного кирпича
H_2O	-	0,62	1,15	1,14

Среда	Концентрация	Модифицированная смола	Коэффициент диффузии $D \cdot 10^{-8}$, см/с	
			Полимербетоны	
			на щебне из боя кислотоупорного кирпича	на гранитном щебне
H_2SO_4	5	0,30	1,04	1,01
	30	0,03	0,20	0,19
H_2O	-	0,62	3,04	3,13
H_2SO_4	5	0,30	2,16	2,21
	30	0,03	0,57	0,59

Таблица 3

Продолжительность диффузии агрессивной среды через защитный слой полимербетона на модифицированных фурановых смолах / The duration of the diffusion of aggressive Wednesday through a protective layer of polymer modified furane resins

Вид полимербетона	Среда	Концентрация	Толщина полимербетонного слоя, см		
			0,7	1,5	2,0
Полимербетон на щебне из боя кислотоупорного кирпича	H_2O	-	20	92	164
	H_2SO_4	5	29	131	234
		30	134	614	1092
Полимербетон на гранитном щебне	H_2O	-	20	90	160
	H_2SO_4	5	28	129	229
		30	117	539	958

Научная новизна и практическая значимость

Совмещение мономеров ФА и ФАМ с более дешевыми и доступными полимерами, является одним из путей расширения сырьевой базы для производства связующих и снижения стоимости полимербетонов. Перспективным в этом отношении есть совмещение фурановых смол с отходами коксохимического производства – кислой смолкой (отходы производства цехов ректификации сырого бензола).

Выводы

Анализ данных показывает, что полимербетоны на щебне из боя кислотоупорного кирпича более устойчивы против проникания в них агрессивной жидкости, чем полимербетоны на гранитном щебне. С увеличением концентрации агрессивных сред время проникания их в полимербетоны увеличивается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов В. М., Заригов А. А., Ходин В. Г. и др. Химическая стойкость и ползучесть полимерных фурановых связующих. – Научные труды Саратовского политехнического института, 1984. – Вып. 70. – С.91-95.
2. Иртуганова С. К., Мамотов Ю. М., Диуман В. С. и др. Полимеррастворы на основе фурфуrolацетоновой смолы различных модификаций // Бетон и железобетон. - 1994. – №8. – С.19-20.
3. Ельшин И. И. Пластбетон. - Киев: Будівельник, 1997. – 125 с.
4. Baress R. Einige Physikalische Eigenschegten der kumdidstoff-Betone. – «Zement-kalk-Gips», 1991, №4.
5. Sumy R. N. Anwendungsbazeiche fur Fasez und Polymerbeton. - «Baustoffindustrie», 1996, BL 19, №38. – S.30-32.
6. Radoliff A.T. Furane reisans. «Develop thermoset, Plast», London, 2007.
7. Knab L.J., Cook I.P. Shear and flexural Behavior of reinforced polyesters concrete beans, - «Journal of the American Concrete Institute», 2003, №10. – S. 493-501.
8. Иванов А. М., Алгазинов Х. Я., Мартынец Д. В. Строительные конструкции из полимерных материалов. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2003. – 239 с.
9. Химия адгезии (перевод с японской статьи Имато Т. Поверхность тела, адсорбция и адгезия, кинетика процессов адгезии). – М.: Бюро переводов, 2001. – 33 с.
10. Хувинк Р., Ставерман А. Химия и технология полимеров. – Из-во Химия. – М.-С.П.: 2004.

REFERENCES

1. Ershov V.M., Zarigov A.A., Hodin V.G. i dr. Himicheskaja stojkost' i polzuchest' polimernyh furanovyh svjazuju-shhih. [Chemical stability and creep of polymer furane connective] – Nauchnye trudy Saratovskogo politermicheskogo instituta, 1984. – Vyp. 70. – S.91-95.
2. Irtuganova S.K., Mamotov Ju.M., Diuman V.S. i dr. Polimerrastvory na osnove furfurolacetonovoj smoly razlichnyh modifikacij [Polimersolutions on substrate furfuralcohol resin of various modifications]// Beton i zhelezobeton. - 1994. – №8. – S.19-20.
3. El'shin I.I. Plastbeton. [Plastbeton] - Kiev: Budivel'nik, 1997. – 125 s.
4. Baress R. Einige Physikalische Eigenschegten der kumdidstoff-Betone. – «Zement-kalk-Gips», 1991, №4.
5. Sumy R. N. Anwendungsbazeiche fur Fasez und Polymerbeton. - «Baustoffindustrie», 1996, BL 19, №38. – S.30-32.
6. Radoliff A.T. Furane reisans. «Develop thermoset, Plast», London, 2007.
7. Knab L.J., Cook I.P. Shear and flexural Behavior of reinforced polyesters concrete beans, - «Journal of the American Concrete Institute», 2003, №10. – S. 493-501.
8. Ivanov A.M., Algazinov H.Ja., Martynec D.V. Stroitel'nye konstrukcii iz polimernyh materialov. [Building structures from polymeric materials Textbook for high schools] Uchebnoe po-sobie dlja vuzov. – М.: Vysshaja shkola, 2003. – 239 s.
9. Himija adgezii (perevod s japonskoj stat'i Imato T. Poverhnost' tela, adsorbciya i adgezija, kinetika processov ad-gezii). [Chemistry of adhesion] – М.: Bjuro perevodov, 2001. – 33 s.
10. Huvink R., Staverman A. Himija i tehnologija polimerov. [Chemistry and technology of polymers] – Iz-vo Himija. – М.-S.P.: 2004.

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. В.М. Дерев'янку (Україна), д-ром. техн. наук, проф. І.В. Трифономим (Україна)

Стаття надійшла в редколегію 29.03.2017