



УДК 621.039.58.002.3

Барабаш Д.Е. – доктор технических наук, профессор

E-mail: barabash60170@yandex.ru

Волков В.В. – кандидат физико-математических наук, доцент

E-Mail: kotlac@yandex.ru

Боровлёв Ю.А. – преподаватель

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Адрес организации: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых большевиков, д. 54 А

Особенности проектирования рецептур радиационно-стойких композитов для биологической защиты

Аннотация

Целью работы являлась разработка неизоцианатного полимербетона с комплексным наполнением, обеспечивающим эффективную биологическую защиту персонала от гамма-излучения и нейтронного потока. Представлены результаты научно-практического обоснования использования в составе конструкций биологической защиты полимербетонных на основе неизоцианатных полиуретанов.

Установлено влияние соотношения полимер: радиационно-стойкий наполнитель на прочностные и защитные свойства полимербетона.

Приведены регрессионные зависимости изменения основных свойств указанных полимербетонных от мощности поглощённой дозы радиации.

Ключевые слова: радиация, полимербетон, неизоцианатные полиуретаны, наполнители.

Введение

Традиционно для биологической защиты персонала на предприятиях атомной промышленности применяют различные металлы и высокоплотные бетоны с радиационно-стойкими заполнителями. Кроме того, широко используют комбинации указанных материалов в зависимости от мощности гамма-излучений. Вместе с тем, общепринятые методы защиты подчас недостаточно эффективны. Это обусловлено тем, что проникающая способность частиц, образующихся при ядерных реакциях неодинакова. Так, например, электроны, протоны, альфа-частицы и осколки деления, имеющие электрический заряд, быстро тормозятся в сравнительно тонких слоях вещества. Пробег наиболее проникающей из перечисленных частиц электрона с энергией 5-6 МэВ в алюминии, равен приблизительно 1 см. Основную опасность представляют нейтральные частицы – нейтроны и ϱ -кванты. При распаде элементарных частиц возникают ϱ -кванты с энергией 70 МэВ. При прохождении быстрых нейтронов через вещество и при торможении их в кулоновском поле ядер могут появиться фотоны с энергией до нескольких десятков ГэВ.

В связи с тем, что при замедлении быстрых нейтронов выделяется тепло, необходимо дополнительно обеспечить теплостойкость материала. Известно, что элементы, которые обладают способностью неупругого рассеяния нейтронов – например, барий и железо наиболее интенсивно замедляют быстрые нейтроны высоких энергий до средних энергий. Кроме того, материалы, содержащие в своем составе водород, способны к захвату медленных нейтронов. К таким материалам относится большинство полимеров, на основе которых можно получить разнообразные композиты с комплексом свойств, наиболее полно отвечающим требуемым условиям эксплуатации.

Указанные обстоятельства обуславливают комплексный подход к проектированию рецептур композитов для биологической защиты. Помимо обеспечения максимально возможного линейного коэффициента ослабления разрабатываемый материал должен иметь достаточную радиационную стойкость, обеспечивающую заданный срок эксплуатации конструкции защиты.

Таким образом, формализованная научная задача исследований состоит в разработке эффективного радиационно-стойкого полимербетона состоящего из полимера холодного отверждения и радиационно-стойкого наполнителя в предположении проявления синергизма при совмещении базовой полимерной основы, обладающей достаточной радиационной стойкостью и высокоплотного наполнителя, размолотого до необходимого состояния.

Для получения максимально плотного композита с заданной способностью ослаблять воздействие радиационных излучений необходимо установление рационального соотношения связующего и порошкообразного наполнителя.

Основная часть

Радиационная стойкость полимерных материалов зависит от их химического строения. Большой стойкостью обладают полимеры с двойными связями и ароматическими циклами, по сравнению с полимерами с насыщенными связями. Это объясняется эффектом рассеяния энергий на структурных элементах макромолекул. Это явление особенно характерно для полимеров с ароматическими группами, обладающими большим набором энергетических уровней, в результате чего ионизирующие излучения рассредоточиваются по связям. Кроме того, в таких макромолекулах за счет наличия свободных электронов имеет место перераспределение энергии. Более низкой радиационной стойкостью обладают полимеры со связями *C-F*, *C-Si*, *C-O* [1].

Все виды излучений вызывают в полимерах химические изменения, в результате которых разрушаются имеющиеся и образуются новые связи. В основном, радиационно-индуцированные изменения в органических материалах связаны с разрывом ковалентных связей.

Из механических свойств изменяются прочность на растяжение и сжатие, модуль упругости, твердость, гибкость [1].

В связи с этим весьма актуальна задача разработки материалов, обеспечивающих не только эффективную комплексную защиту, как от γ -излучения, так и от нейтронного потока, но и сохранение исходных физико-механических характеристик в течение заданного периода эксплуатации.

Несмотря на то, что в настоящее время имеется достаточно широкий круг материалов, способных длительное время противостоять воздействию радиации, наиболее перспективным представляется полимербетон, обладающий эффективным набором эксплуатационных характеристик, среди которых надо выделить высокую, практически универсальную химическую и радиационную стойкость, благоприятные физико-механические свойства, технологичность, малую усадку.

Имеющиеся результаты по разработке полимербетонных позволяют выделить их в ряд радиационно-стойких материалов [2].

Вместе с тем, не решена проблема разогрева полимербетонных при воздействии ионизирующего излучения. В связи с этим нами были проведены исследования по уточнению рецептур, направленные на обеспечение длительного сохранения исходных свойств полимербетонных для биологической защиты в условиях воздействия радиации. Помимо указанных выше требований материалы, применяемые для устройства защиты от излучений должны обеспечивать [3]: минимальное образование и минимальную энергию вторичных излучений; в частности, минимальный выход γ -излучений с минимальной энергией, возникающей при захвате фотонов; низкую наведенную радиоактивность в защите; механическую прочность материала, прежде всего, на сжатие; относительно низкий модуль упругости, способствующий уменьшению напряжений на растяжение от нагрева внутренних слоев защиты; минимальное тепловое расширение, обеспечивающее монолитность конструкции и сокращающее напряжения; водонепроницаемость и газонепроницаемость, коррозионную стойкость; технологичность (простоту монтажа и демонтажа) и невысокую стоимость. Большинство этих требований в значительной мере взаимно противоположны. Поэтому при выборе материала для биологической защиты должны быть тщательно взвешены все технико-экономические преимущества и недостатки различных материалов. Предпочтение должно быть отдано материалам, обладающим свойствами, решающими для данной конструкции.

Таким материалом, несомненно, является композит, обеспечивающий за счет водородсодержащего полимерного связующего эффективное замедление и захват нейтронов, и радиационную стойкость за счет комплексного наполнения.

Кроме того, необходимо обеспечить надлежащую экологическую безопасность материала при длительной эксплуатации.

Одним из возможных путей решения этой проблемы является получение полиэпоксид-полигидроксиуретанов на основе эпоксидных соединений, циклокарбонатов и аминов без использования токсичных изоцианатов в качестве исходного сырья.

Наличие активных гидроксильных групп, содержащихся в таких соединениях, предполагает эффект ускорения процесса отверждения эпоксидов аминами [4,5]. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что эпоксиаминные композиции, модифицированные гидроксиалкилуретанами, обладают улучшенными физико-механическими, физико-химическими и технологическими характеристиками по широкому комплексу свойств.

Наличие большого количества водорода в составе полимера способствует эффективному захвату быстрых нейтронов и снижению плотности флюэнса указанных частиц. Вместе с тем, указанный процесс сопровождается радиационным саморазогревом, что негативно сказывается на прочностных характеристиках материала. Очевидно, что необходимо одновременно обеспечить как эффективную биологическую защиту, так и стойкость к температурным воздействиям. Эти вопросы решаются совместно, поскольку введение наполнителя, имеющего высокий линейный коэффициент ослабления, способствует снижению теплообразования в теле полимербетона. Предварительными исследованиями установлено, что наиболее перспективными наполнителями являются тонкодисперсные радиационно-стойкие порошки.

Нами был проведен сравнительный анализ молотых стекол, серпентинита, барита, гематита и магнетита и оценка степени их совместимости с полимерным связующим. Указанные порошки были выбраны в силу того, что они традиционно используются в радиационной защите. Сравнительный анализ характеристик наполнителей показал, что значение рН изменяется в достаточно широком диапазоне, так же как и маслосъемность.

В табл. 1 представлено ранжирование наполнителей по крупности частиц, маслосъемности и значению рН водной суспензии.

При подборе тонкости помола частиц наполнителя имели в виду следующее: склонность частиц к агломерации, которая возрастает с увеличением удельной поверхности наполнителя; седиментацию частиц, которая ускоряется с уменьшением удельной поверхности, повышением плотности наполнителя и снижением вязкости связующего.

Таблица 1

Физико-механические характеристики наполнителей

Название наполнителя	$S_{уд}$, м ² /г	Маслосъемность, г/100 г	рН водной вытяжки
порошок серпентинита	300...350	28...60	9,1...10,3
порошок барита	280...310	30...50	6...8
порошок лимонита	310...340	40...56	5...5,5
порошок магнетита	290...340	35...50	5,5...6,2
порошок стеклянный натрийборосиликатный	Микросферы 15...200 мкм	9...11	6,6...7,4

В силу того, что разрабатываемые нами композиции относятся к конструкционным материалам, изготовление которых предполагается непосредственно на объекте, предпочтительно их применение по наливной технологии. Одним из требований, предъявляемых к наливным композициям, является вязкость, обеспечивающая их выравнивание под собственным весом и тиксотропность.

Кроме упрощенной схемы применения разрабатываемых композиций наличие жидкой фазы обеспечивает, помимо химического взаимодействия, механическую адгезию композиций к различного рода подложкам. В связи с этим ведущим параметром оптимизации на этапе оценки влияния наполнителей на физико-механические

характеристики композиций назначили вязкость смесей.

Ранее нами было установлено, что введение тонкомолотых наполнителей существенно повышает вязкость смеси, даже в условиях протекания экзотермической реакции между полимером и компонентами отверждающей группы [6].

Поскольку введение пластификаторов химической природы в состав радиационно-защитных материалов нерационально, нами рассмотрен вопрос использования пластификатора физического типа – стеклянного порошка. Выбор указанного пластификатора обусловлен рядом причин.

Во-первых, наличие в составе порошка микросфер обеспечивает значительное снижение сопротивления смеси вязкому сдвигу.

Во-вторых, химический состав порошка соответствует требованиям по радиационной защите.

В целях получения объективных сведений о совместимости исследуемых связующего и наполнителей проводили эксперименты по установлению зависимости характеристической вязкости от количества вводимых наполнителей. Наполнители вводили пошагово, с градацией 5 % по массе.

На каждом этапе наполнения контролировали величину вязкости на ротационном вискозиметре РВ-8М.

Перемешивание компонентов осуществляли в смесителе принудительного действия пропеллерного типа, оборудованном системой подогрева.

Фиксировали изменение вязкости при повышении температуры, поскольку температура оказывала значительное влияние на реологические характеристики смесей.

После достижения максимальной степени наполнения, соответствующей комкованию смеси, введение наполнителей прекращали.

Вместе с тем, следует отметить, что из технологических соображений граничная величина вязкости для подобных смесей составляет 80 Па·с [6].

Указанная вязкость обеспечивает равномерное распределение полимерной композиции по подложке и самовыравнивание, что определяет ее использование по литьевой технологии.

Анализ результатов эксперимента позволил сделать вывод о том, что процесс изменения вязкости η при введении наполнителей адекватно описывался зависимостью вида:

$$h = Ae^{bx}, \quad (1)$$

где A – характеристическая вязкость исходного связующего, b – коэффициент, зависящий от вида наполнителя и его удельной адсорбционной поверхности, x – количество вводимого наполнителя, % по объему.

В результате проведенных экспериментов доказан пластифицирующий эффект стеклянного порошка. В силу сферической формы частиц и его малой маслостойкости стеклянный порошок играет роль слоя скольжения между основным наполнителем и связующим.

Из рассмотренных наполнителей наибольшей концентрации удалось достичь при использовании молотого лимонита в соотношении лимонит: стеклянный порошок 1:1. При указанном соотношении суммарная массовая доля наполнителя составила 60 масс % от массы связующего.

Следующей задачей явилось установление концентраций наполнителя, обеспечивающих максимально возможную плотность композита при требуемых показателях линейного коэффициента ослабления.

Решение поставленной задачи сопряжено со значительными трудностями.

Во-первых, повышение концентрации наполнителя неизбежно приведет к снижению доли полимерного связующего, основного носителя водорода.

Во-вторых, достижение максимальной плотности композита сопряжено со значительными технологическими трудностями, вызванными увеличением вязкости смеси.

Целевыми функциями при решении указанной задачи назначены прочность при сжатии, поскольку она обеспечивается максимальной плотностью композита, линейный коэффициент ослабления (ЛКО) и вязкость смеси (h).

Как ранее указывалось пороговое значение вязкости не более 80 Па*с.

С учетом того, что совмещение компонентов отверждающей группы и полимерной основы является экзотермической реакцией, температура смеси при введении порошков фиксировалась на уровне 30 °С.

Контроль снижения температуры осуществляли спиртовыми термометрами. Измерения вязкости проводили при двух значениях температуры: 30 и 20 °С.

Указанный диапазон обусловлен неизбежным снижением температуры смеси при введении порошков. Кроме того, при проведении работ в зимнее время необходимо учитывать общее понижение температуры при отсутствии мероприятий по обогреву изделий.

Оптимизацию состава проводили при помощи двухфакторного, трехуровневого эксперимента. Данные предыдущих исследований [6] позволили нам установить максимальные и минимальные степени наполнения, соответствующие пороговому значению вязкости.

Влияющие факторы: x_1 , x_2 – содержание лимонита и стеклянного порошка, в % от массы полимера, соответственно.

План эксперимента с полученными значениями целевых функций представлен в табл. 2.

В плане обозначения «+», «-», «0» соответствуют верхнему, нижнему и среднему уровню факторов, соответственно. За чертой – значения фактора в натуральных показателях.

Таблица 2

**План проведения двухфакторного трехуровневого эксперимента
с полученными значениями целевых функций**

№ строки	x_1	x_2	Прочность при сжатии, МПа	ЛКО, см ⁻¹	h (Па·с) при температуре, °С	
					20	30
1	+/30	-/10	46,6	0,665	141	70
2	+/30	+/30	58,5	0,890	177	78
3	-/10	+/30	44,5	0,335	88	55
4	0/20	+/30	56,6	0,689	131	64
5	0/20	-/10	43,3	0,309	97	55
6	+/30	0/20	52,4	0,755	135	74
7	-/10	0/20	42,5	0,265	70	51
8	0/20	0/20	46,8	0,688	110	60

В результате обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии для изменения вязкости, линейного коэффициента ослабления и прочности при сжатии:

- при температуре 30°С:

$$h = -28,66 + 1,18 \cdot x_1 + 0,45 \cdot x_2; \quad (2)$$

- при температуре 20°С:

$$h = -3,633 + 4,018 \cdot x_1 + 1,735 \cdot x_2; \quad (3)$$

$$ЛКО = -0,276 + 0,0264 \cdot x_1 + 0,0135 \cdot x_2; \quad (4)$$

$$R_{сж} = 24,87 + 0,572 \cdot x_1 + 0,558 \cdot x_2. \quad (5)$$

Анализом коэффициентов уравнений 2, 3 установлено, что наиболее значимый вклад в изменение вязкости у порошка лимонита, поскольку коэффициенты при x_1 в обоих уравнениях больше, чем коэффициенты при x_2 .

В силу того, что регрессионное уравнение линейно, оптимизировать по указанному параметру (вязкости) рецептуру композита достаточно сложно.

В связи с этим оптимизацию проводили совместно, по ЛКО и вязкости.

Как следует из уравнения 4, вклад наполнителей в значение ЛКО неоднозначен. Степень ослабления гамма-излучения порошком лимонита несколько выше, чем у порошка стеклянного. Вместе с тем, полученные значения ЛКО композита в целом значительно превышают суммарные значения ЛКО указанных наполнителей.

Очевидно, что совместное использование порошков лимонита и стеклянного в составе неизоцианатного полимербетона вызывает синергетический эффект, взаимно усиливая эффект ослабления γ -излучения. На наш взгляд указанное обстоятельство объясняется содержанием в составе композита различных по природе и составу компонентов, обеспечивающих в совокупности эффективную радиационную защиту.

Сравнительный анализ влияния концентрации вводимых порошков на прочность отвержденного композита показал, что в целом вклад указанных порошков в прочность одинаков. Коэффициенты уравнения 5 практически равны: 0,572 и 0,558 соответственно.

Очевидно, что механическое упрочнение реализуется в основном за счет упорядочения структур композита, то есть путем формирования кластеров вокруг активных центров. В целом наблюдается тенденция увеличения прочности при увеличении степени наполнения. Одновременно с ростом прочности увеличивается значение ЛКО, то есть реализуется «закон створа» [7].

Теоретически можно получить степень наполнения до 90 % по объему, однако для введения такого количества наполнителя необходимо повышение температуры связующего до величин, при которых скорость отверждения возрастет в сотни раз, что не позволит обеспечить жизнеспособность смеси.

В связи с изложенным выше наиболее благоприятными показателями вязкости и ЛКО обладал состав, содержащий суммарно 60 масс % лимонита и порошка стеклянного.

Несмотря на то, что вязкость указанной рецептуры при температуре 20 °С значительно превышает пороговую, совокупность положительных свойств обуславливает выбор именно такого соотношения компонентов, поскольку обеспечивается достаточное количество водородных связей в объеме используемого связующего.

Кроме того, при использовании небольших объемов замеса можно обеспечить повышение температуры смеси до 30 °С, что позволит снизить вязкость до заданной.

По результатам испытаний трех серий по девять образцов полученного материала в условиях кратковременного нагружения установлено, что средняя призматическая прочность при сжатии составила 58 МПа.

Для испытанных образцов усредненный модуль упругости составил 18720 МПа.

Прочность образцов на растяжение при изгибе в среднем составила 15,7 МПа.

Средняя плотность испытанных образцов составила 3120 кг/м³.

Согласно закону «створа» максимальная прочность при сжатии достигается при высоких значениях плотности, соответствующей максимально плотной упаковке частиц [7]. Поскольку процесс смешения молотого наполнителя и полимерной основы происходит при температуре до 30 °С, количество указанного наполнителя значительно меньше максимально возможного. Однако, как уже ранее указывалось, повышение температуры реакционной смеси неизбежно приводит к ускорению отверждения. В этой связи провели исследования влияния температуры смеси на ее жизнеспособность.

Жизнеспособность смеси оценивали по изменению ее вязкости во времени при фиксированной температуре.

Результаты проведенных исследований представлены на рисунке.

Установлено, что при температуре 50 °С реакция отверждения начинается уже спустя 17 минут после окончания перемешивания. Об этом свидетельствует резкое изменение вязкости, иллюстрируемое кривой 4 на рисунке.

При температуре 40 °С отверждение начинается с 34 минуты, о чем свидетельствует характер кривой 3 на рисунке.

За период испытания, то есть за 45 минут, отверждения смесей при температуре 20 и 30 °С не наступало, поскольку на кривых 1 и 2 резких изменений не наблюдалось. Следующим этапом изучения свойств разрабатываемого композита явилась оценка радиационной стойкости.

Образцы выдерживались до заданной дозы ионизирующего излучения, и производился контроль изменения базовых характеристик.

В состав контролируемых характеристик, достаточно полно отражающих радиационную стойкость композита, включены: прочность при сжатии – $R_{сж}$, модуль упругости при сжатии – E , линейный коэффициент ослабления – ЛКО.

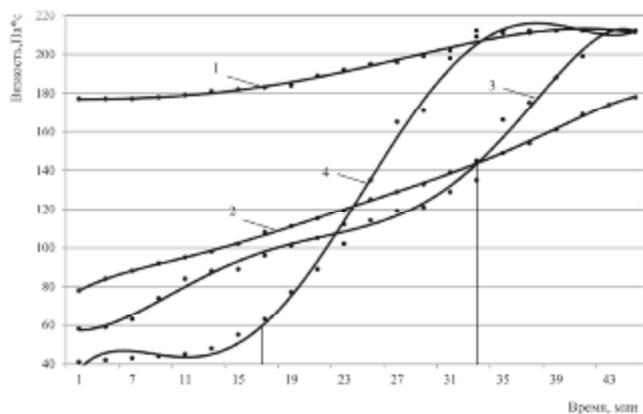


Рис. Зависимость скорости отверждения композита от роста температуры соответственно: температура проведения испытаний, ОС: 1-20; 2-30; 3-40; 4-50

Изменения указанных характеристик при радиационном облучении, выраженные через коэффициенты K_p , $K_{R_{сж}}$, K_{pE} , косвенно свидетельствуют об ослаблении связи между наполнителем (заполнителем) и органическим связующим вследствие деградации свойств последнего. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение свойств композита при облучении

Доза γ -излучения, P	K_p , $R_{сж} = R_{сж} / R_{сж нач}$	$K_{pE} = E / E_{нач}$	$ЛКО, см^{-1}$
$10 \cdot 10^6$	1,0	1,0	$0,86 \pm 0,02$
$50 \cdot 10^6$	1,0	1,0	$0,84 \pm 0,01$
$250 \cdot 10^6$	0,94	1,0	$0,72 \pm 0,01$
$500 \cdot 10^6$	0,91	0,98	$0,61 \pm 0,01$

Воздействие гамма-излучения и нейтронного облучения сказывается в первую очередь на органической части полимербетона. Проведенная ИК-спектметрия выявила появление полосы при 1730 см^{-1} , что указывает на разрушение двойной связи и окисление непредельного углеводорода с образованием $C=O$ – связи [8]. Таким образом, можно полагать, что происходит структурная модификация связующего, обеспечивающая дополнительную сшивку молекулярных цепей и упрочнение композита в целом.

Вместе с тем, материал считается радиационно-стойким, если его показатели снижаются не более чем на 25 % от своего первоначального значения. Заданная нами выдержка образцов неизоцианатного полимербетона соответствовала примерно 7...8 годам эксплуатации в условиях жесткого радиационного воздействия. С учетом того, что значения прочностных характеристик за первые два-три года возросли, возможно прогнозировать надежную биологическую защиту персонала от радиоактивного облучения по крайней мере на период не менее 10...12 лет.

Закключение, В результате проведенных исследований получен радиационно-стойкий полимербетон на основе неизоцианатного полиуретана комплексно наполненный молотым лимонитом и стеклянным порошком натрийборосиликатного состава обеспечивающий эффективную биологическую защиту персонала от гамма-излучения и нейтронного потока с сохранением заданных прочностных и радиационных характеристик в течение не менее 10 лет.

Список библиографических ссылок

1. Милинчука В.К., Туликова В.И. Радиационная стойкость органических материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 267 с.
2. Перекальский О.Е. Строительные композиты на основе полибутадиеновых олигомеров для защиты от радиации // Дисс. ... канд. тех. наук. – Воронеж, 2006. – 174 с.
3. Комаровский А.Н. Строительные материалы для защиты от излучений ядерных реакторов и ускорителей. – М.: Изд-во Главного управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР, 1958. – 123 с.

4. Шаповалов Л.Д., Фиговский О.Л., Кудрявцев Б.Б. Неизоцианатные полиуретаны. Синтез и применение // Вопросы химии и химической технологии, 2004, № 1. – С. 232-236.
5. Figovsky O., Shapovalov L. Cyclocarbonate Based Polymers Including Non-Isocyanate Polyurethane Adhesives and Coatings // Encyclopedia of surface and colloid science, 2006, № 3. – P. 1633-1652.
6. Barabash D.E., Borisov Yu.M., Panfilov D.V., Anisimov A.V. Constructional composites based on non-isocyanate polyurethane // «Scientific Israel – technological advantages», № 15, 2013. – P. 103-110.
7. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. – М.: Высшая школа, 2004. – 701 с.
8. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. – М.: Изд-во «Мир», 1965. – 220 с.

Barabash D.E. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: barabash60170@yandex.ru

Volkov V.V. – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor

E-mail: kotlac@yandex.ru

Borovlyov Ju.A. – lecturer

Military educational centre of science of Military air forces «Military air academy of prof. N.E. Zhukovsky and Ju.A. Gagarin»

The organization address: 394064, Russia, Voronezh, Staryhbolshevikov st., 54 A

Features of designing of compoundings composites proof to radiation for biological protection

Resume

The work purpose was working out Non-Isocyanate Polyurethane with the complex filling providing effective biological protection of the personnel from scale-radiation and a neutron stream. Results scientifically – a practical substantiation of use as a part of designs of biological protection polymeric concrete on a basis Non-Isocyanate Polyurethane are presented.

Influence of a parity polymer is established: radiation – proof powder on durability and protective properties polymeric concrete.

Are resulted dependences of change of the basic properties specified polymeric concrete from capacity of the absorbed dose of radiation. Results of a scientifically-practical substantiation of use as a part of designs of biological protection of polymeric concrete on a basis Non-Isocyanate Polyurethane are presented.

Keywords: radiation, polymeric concrete, Non-Isocyanate Polyurethane, powder.

Reference list

1. Milinchuka V.K., Tulikova V.I. Radiating firmness of organic materials. – М.: Energoatomizdat, 1986. – 267 p.
2. Perekalsky O.E. Building composites on a basis polibutadien oligomeric for protection against radiation // The dissertation of a Cand. Tech. Sci. – Voronezh, 2006. – 174 p.
3. Komarovskiy A.N. Building materials for protection against radiations of nuclear reactors and accelerators. – М.: Central administrative board Publishing house on atomic energy use at Ministerial council of the USSR, 1958. – 123 p.
4. Shapovalov L.D., Figovsky O.L., Kudryavtsev B.B. Non-Isocyanate Polyurethane. Synthesis and application // Voprosy himii i himicheskoy tehnologii, 2004, № 1. – P. 232-236.
5. Figovsky O., Shapovalov L. Cyclocarbonate Based Polymers Including Non-Isocyanate Polyurethane Adhesives and Coatings // Encyclopedia of surface and colloid science, 2006, № 3. – P. 1633-1652.
6. Barabash D.E., Borisov Yu.M., Panfilov D.V., Anisimov A.V. Constructional composites based on non-isocyanate polyurethane // «Scientific Israel – technological advantages», № 15, 2013. – P. 103-110.
7. Rybev I.A. Building materials technology. – М.: Vysshaya shkola, 2004. – 701 p.
8. Nakanisi K. Infrared spectra and a structure of organic connections. – М.: Izd-vo «Mir», 1965. – 220 p.