

ИНДЕКС 3649



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Препринт ЕФИ-1132(9)-89

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

В.В.КОРЕНЕВСКИЙ, К.К.ПОКРОВСКИЙ,
А.Л.ТОМАШПОЛЬСКИЙ, А.Г.ЯШАНОВ, Э.А.БАДАЛЯ
Г.А.КОШЕЦЯН, В.Ц.НИКОГОСЯН, С.Н.ОГАНЕСЯН

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ
РЕСТАВРАЦИИ МАГНИТНЫХ БЛОКОВ КОЛЬЦЕВОГО
УСКОРТЕЛЯ ЕРФИ

ЦНИИАтоминформ
ЕРЕВАН - 1989

Վ.Վ.ԿՈՐՆԵՎՍԿԻ*, Գ.Ա.ԿՈՇԵՑՅԱՆ, Ս.Ն.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ
Ա.Գ.ՅԱՄԵՆՈՎ*, Վ.Ց.ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ, Կ.Կ.ՊՈՒՐՈՎՍԿԻ*
Է.Ա.ԲՈՒԿԱՅԱՆ Ա.Լ.ՏՈՄՍԵՎՍԿԻ*

ՊՈԼԻՄԵՐՑՆՄԵՆՏԱՑԻՆ ԽԱԻՆՈՒՄԳՆԵՐԻ ՀԱՅԹԱՅԹՈՒՄԸ ԵՎ
ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ԵՐԵՎԱՆԻ ՕՂԱԿԱԶԵՎ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՉԻ ՄԱԳ-
ՆԻՍՆԵՐԻ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ցույց է տրված պոլիմերցեմենտային խառնուրդի օգտագործման սկզբուն-
չային հնարավորությունը էլեկտրոնային սինքրոտրոնների ճառագայթաբևո-
ւղված էլեմենտների և հանգույցների վերականգնման համար: Հայտնաբեր-
ված է այնպիսի պոլիմերցեմենտային խառնուրդ, որը կարող է փոխարինել
հազնիսներում օգտագործվող քայքայման ենթակա մեկուսիչները՝ առանց
հաճնիսները քաղաքական ենթարկելու:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1989

* մոսկվայի Վ.Վ.Կոլ յբիշևի անվ. ինժեներա-շինարարական ինստիտուտ

Введение

Ускорители заряженных частиц являются источниками мощного излучения, в полях которого материалы узлов и конструкций оборудования изменяют свои эксплуатационные свойства [1]. Наиболее чувствительны к облучению полимерные материалы, широко применяющиеся в качестве конструкционных и электроизоляционных (эпоксидные компаунды, слоистые пластики, эластомеры, лаки, краски, масла и др.) [2]. К настоящему времени, применительно к действующим и проектируемым ускорителям протонов, разработаны методические основы определения радиационной стойкости полимерных материалов и сроков их службы в полях излучений [3].

Радиационные нагрузки на материалы, реализующиеся на ускорителях электронов также могут вызвать разрушение полимерных материалов. Так, материалы узлов и конструкций основного оборудования кольцевого ускорителя ЕРФИ находятся в поле вторичного излучения сложного состава (тормозное излучение, нейтроны, мюоны и т.д.). Одновременно на материалы действуют механичес-

кие и температурные нагрузки, электрические и магнитные поля, химически активные среды и пр.

Наибольшие уровни вторичного излучения приходится на ту часть периметра ускорителя, где расположены мишени, вводные устройства, квадрупольные и шестипольные линзы. На рис. I приведено типовое распределение остаточной активности по стенкам вакуумной камеры Ереванского синхротрона. Приведенное распределение получено при работе синхротрона в режиме вывода гамма-пучка по I каналу, при энергии ускоренных электронов 4,5 ГэВ и токе пучка 3 мА. Видно, что активность максимальна в области блоков № 17 - 19, где генерируются возмущающие магнитные поля для вывода пучка на мишень, а также на блоке № 1, при вводе электронов в кольцо из инжектора. При работе ускорителя в режиме вывода по другим гамма-каналам, II и III, пик активности смещается к блокам 19 - 21 и 21 - 23 соответственно. В режиме электронного вывода образуются пики активности в области блоков 14 - 24, соответствующие потерям возмущенного на выводе пучка, кроме того, появляются небольшие пики активности в области блоков 26 - 30 и 36 - 41, где расположены квадрупольные и шестипольные линзы, формирующие пучок перед электронным выводом. Априорные оценки показывают, что интегральное поглощение дозы в таких точках ускорителя за двадцатилетний срок его эксплуатации составляет не менее 5 мГр. Этого уровня радиационных нагрузок достаточно, чтобы некоторые полимерные материалы за этот срок эксплуатации исчерпали свой ресурс. По этой причине в ряде секций магнитных блоков (№№ 17, 19, 20, 21, 24...) в последние годы вышли из строя такие электроизоляционные материалы как гетинакс, электрокартон, эпоксидный компаунд. В боль-

шинстве случаев полная замена материалов, потерявших работоспособность, невозможна без демонтажа магнитных блоков, а следовательно и внеплановой остановки ускорителя. В связи с этим в данной работе была предпринята попытка найти такой радиационно-стойкий материал, который по своим показателям не уступал бы вышедшим из строя материалам и позволял бы произвести реставрацию разрушенной изоляции в зазорах между секциями магнитных блоков без их разборки.

Основные требования к такому материалу сводились к следующему:

- показатель радиационной стойкости материала должен быть не ниже 10^8 Гр, т.е. с большим запасом обеспечивал бы радиационную долговечность в течение нескольких десятилетий эксплуатации ускорителя;
- хорошая адгезия материала к слоистым пластикам и стали (не ниже 0,7 и 1,2 МПа соответственно);
- удельное электросопротивление при температуре 15-20°C и относительной влажности 65% должно быть не менее 10^8 Ом.м;
- прочность при сжатии и изгибе должна быть соответственно не ниже 40 и 10 МПа;
- тангенс угла диэлектрических потерь должен быть не выше 0,1;
- материал должен обладать трещиностойкостью и вибростойкостью;
- материал должен быть текучим и хорошо заполнять узкую (до 20 мм) щель на глубину до 60 см.

После анализа более чем двадцати возможных материалов для комплексных исследований были выбраны омоноличивающие композиции на основе полимерцемента.

Полимерцемент (ПЦ) – материал на основе композиционного вяжущего, включающего органический полимер – и неорганическое вяжущее вещество; при этом полимерный компонент образует в затвердевшем материале самостоятельный структурный элемент. Опыт применения ПЦ материалов в качестве электроизоляции магнитов на ускорителях протонов [4], показал, что его минеральный компонент обеспечивает требуемый показатель радиационной стойкости и механическую прочность, а полимерный – электрофизические свойства (электросопротивление до 10^9 Ом·м, пробивное напряжение 3–4 МВ/м, $\tan \delta$ и ϵ при 50 кГц соответственно 0,09 и 7,7) [5,6].

1. Методика исследований

Для приготовления исследуемых ПЦ-смесей использовались следующие материалы:

1. цементы:

- портландцемент марки 500
- портландцемент быстротвердеющий марки 500
- глиноземистый цемент марки 500

2. полимерное связующее:

- эпоксидная смола ЭД-20

3. отвердители эпоксидного олигомера:

- УП 0647
- УП 606/2
- УП 0633М

4. поверхностно-активное вещество:

- олигоамид ДА 2120

5. пластификатор:

- лапроксид 703 (730)

6. наполнитель:

- кварцевый песок

7. вода затворения.

Поиск оптимального соотношения компонентов ПЦ-смеси велся путем исследования зависимости показателей механических свойств композиций от технологических факторов:

- вида цемента;
- полимерцементного отношения (П/Ц);
- водоцементного отношения (В/Ц);
- количества наполнителя;
- вида отвердителя;
- количества поверхностно-активного вещества.

В качестве показателей механических свойств были приняты: предел прочности при изгибе и сжатии (ГОСТ 10 100-70) на образцах 2х2х2 см и призмах 2х2х6 и 4х4х16 см; адгезионная прочность при изгибе соединений металл-металл, а также подвижность смеси, которая определялась погружением стандартного конуса на глубину 6–8 см или по диаметру расплава смеси на встряхивающем столике (ГОСТ 10 181,1-81).

Приготовление ПЦ-смеси осуществлялось по следующей схеме:

1. В нагретую до 50–80°C эпоксидную смолу при постоянном перемешивании добавляли пластификатор.

2. Пластифицированную эпоксидную смолу смешивали в течение 5–6 минут с просушенным и нагретым до 50°C кварцевым песком. Такая смесь может храниться несколько суток.

3. Приготавливали цементное тесто из минерального вяжущего с водой затворения, в котором предварительно растворили поверхностно-активное вещество.

4. В цементное тесто добавляли приготовленную смесь кварцевого песка с пластифицированной эпоксидной смолой, а также отвердитель. Общую массу перемешивали 4-6 минут.

2. Результаты исследований

2.1. Вид минерального вяжущего

Испытание на сжатие образцов ПЦ-композиций, приготовленных на основе трех различных высокомарочных цементов показало, что вид цемента не оказывает большого влияния на прочностные характеристики в стандартном (28 суток) возрасте (рис.2). По причине указанной независимости прочностных характеристик в дальнейших исследованиях использовалось наиболее распространенное вяжущее - быстротвердеющий цемент марки 500 (ГОСТ 10 173-78) завода "Гигант" г. Воскресенска Московской области.

2.2. Полимерцементное отношение

Результаты исследования зависимости прочности при сжатии и изгибе от величины отношения между полимерным и минеральным вяжущим показали, что лучшие прочностные показатели у ПЦ-смесей с величиной П/Ц равной 0,10 и 0,15 (рис.3,4). В дальнейших исследованиях именно эти значения П/Ц принимались при изготовлении образцов композиций.

2.3. Водоцементное отношение

Величина водоцементного отношения оказывает значительное влияние на прочностные характеристики и подвижность ПЦ-смеси (рис.5). Установлено, что максимальное значение прочности при сжатии ПЦ-смеси достигается при В/Ц = 0,27 - 0,30. Такие значения водоцементного отношения соответствуют подвижности ПЦ-смеси I2 - I4 см, что позволяет отнести такую полимерцемент-

ную композицию к пластичному удобоукладываемому материалу.

2.4. Количество заполнителя

Введение заполнителя в ПЦ-смеси осуществляется для исключения трещинообразования в твердеющем полимерном вяжущем [7]. Исследованиями установлено, что оптимальное отношение цемента к заполнителю 1/1 (рис.6). В качестве заполнителя использовался кварцевый песок крупностью до 2 мм.

2.5. Отвердитель и поверхностно-активные вещества

При оценке влияния типа и количества отвердителя на прочность ПЦ-смеси было установлено, что использование аминных отвердителей типа УП 606/2, УП С 633М, УП 0647, имеющих разную активность, практически не сказывается ни на скорости возрастания прочности, ни на ее величине (рис.7). Исследование эффективности введения поверхностно-активного вещества олигоамида Д 2120 показало, что наилучшие прочностные показатели ПЦ-смеси соответствуют 2,5% от массы эпоксидного олигомера (рис.8).

Проведение такого рода факторных исследований позволило выявить оптимальный состав полимерцементной композиции с необходимым комплексом физико-технических и технологических свойств (таблицы 1,2).

Таблица I
Состав разработанной полимерцементной композиции

Наименование и функции компонентов полимерцементной смеси	Содержание компонентов в массовых частях
1. Быстротвердеющий цемент (минеральное вяжущее)	100
2. Песок кварцевый (заполнитель)	100
3. Вода	27-30
4. Эпоксидная смола ЭД 20 (полимерное связующее)	10-15
5. Отвердитель	4,5
6. Олигоамид(поверхностно-активное вещество)	1,5
7. Лапроксид 703 (пластификатор эпоксидной смолы)	1,5-3,0

Таблица 2
Показатели физико-механических свойств полимерцементной композиции

Предел прочности при сжатии, МПа	50-80
Предел прочности при изгибе, МПа	11-12
Адгезионная прочность при изгибе (металл-металл) МПа	4,1-5,2
Относительная деформация при растяжении, %	0,087-0,004
Модуль упругости, МПа	(2,05-2,27)10 ⁴

3. Подготовка омоноличиваемых конструкций оборудования к нанесению полимерцементных композиций

Для эффективного применения разработанной полимерцементной композиции требуется подготовить омоноличиваемые поверхности конструкций от любых видов техногенного загрязнения - масла, жавчины и т.п. Обезжиривание поверхностей следует проводить растворителями (толуол, ацетон). Металлические поверхности следует предварительно обработать абразивным инструментом или пескоструйным аппаратом. Для повышения адгезии полимерцементного состава к омоноличиваемой поверхности целесообразно нанести на нее адгезивный грунт, состоящий из пластифицированной эпоксидной смолы с отвердителем в соотношении: смола - 100 м.ч., пластификатор - 10-15 м.ч., отвердитель - 12-20 м.ч. Омоноличивание элементов конструкций следует проводить до потери грунтом жизнеспособности, которая составляет 1-2,5 часа в зависимости от применяемого отвердителя.

Таким образом, показана принципиальная возможность применения полимерцементной смеси в качестве материала для проведения реставрационных работ в радиационно-нагруженных элементах и узлах оборудования электронного ускорителя ЕРФИ.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам отдела кольцевого ускорителя ЕРФИ за помощь в выполнении данной работы.

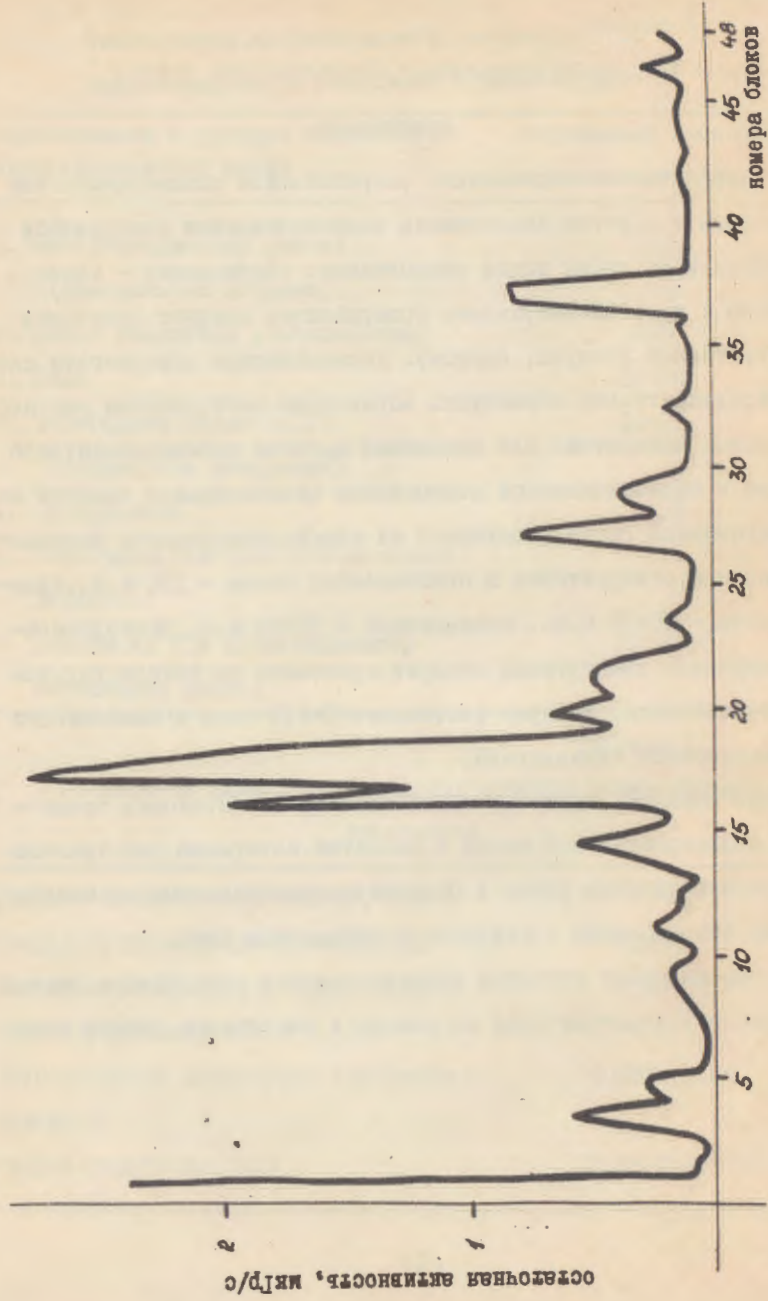


Рис.1

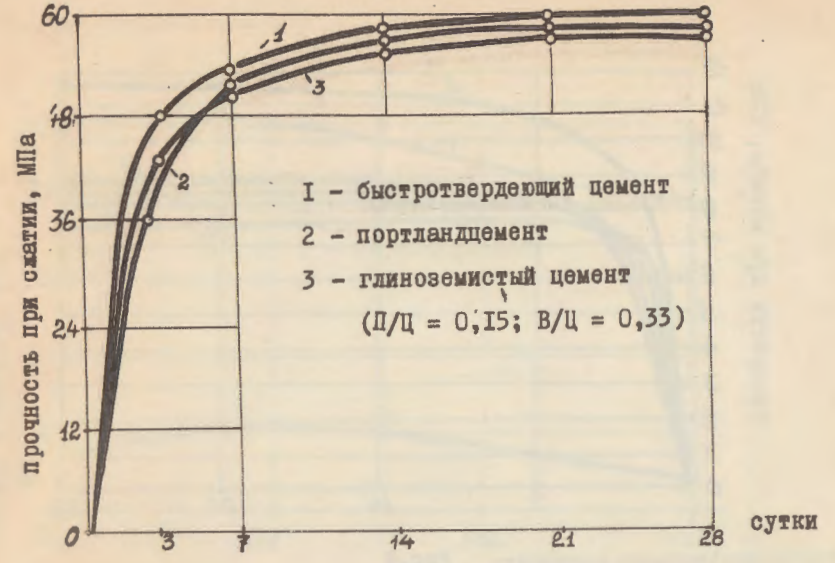


Рис.2

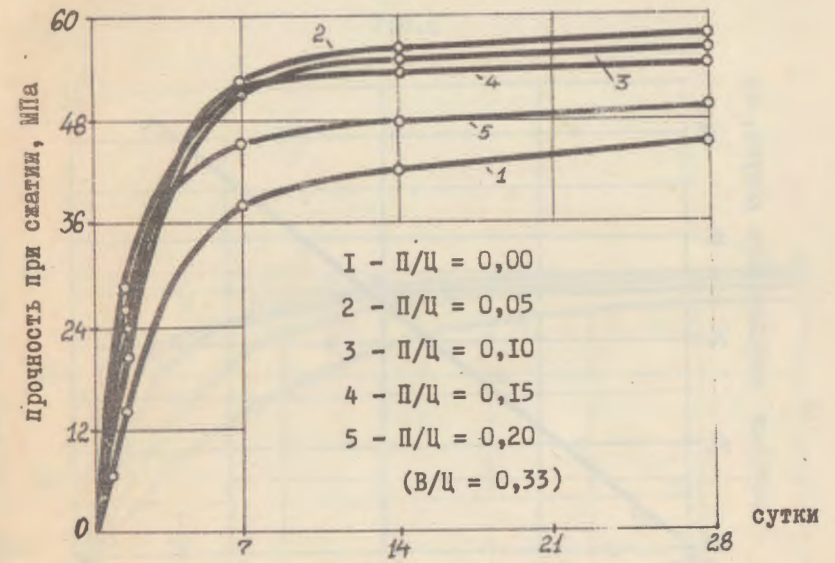


Рис.3

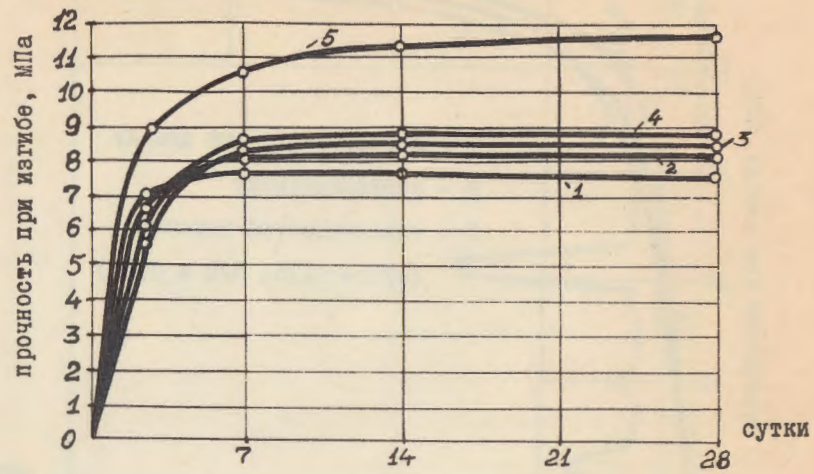


Рис.4

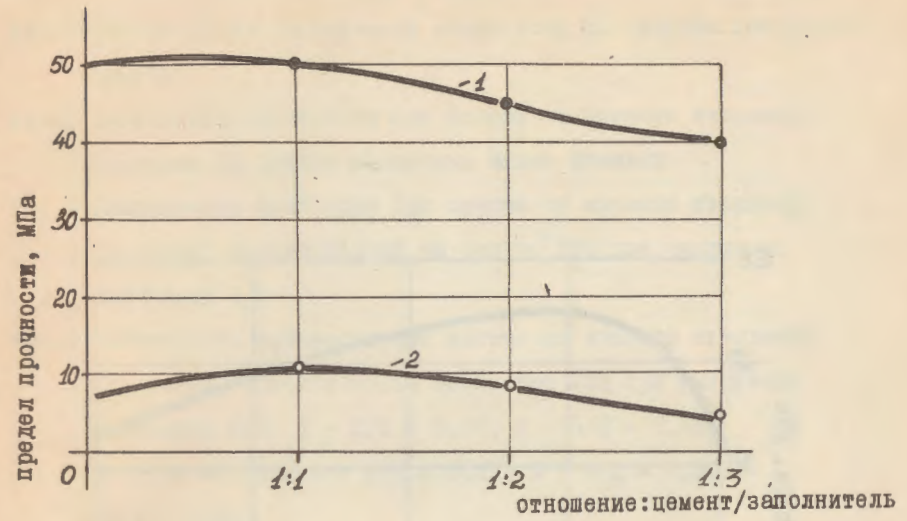


Рис.6

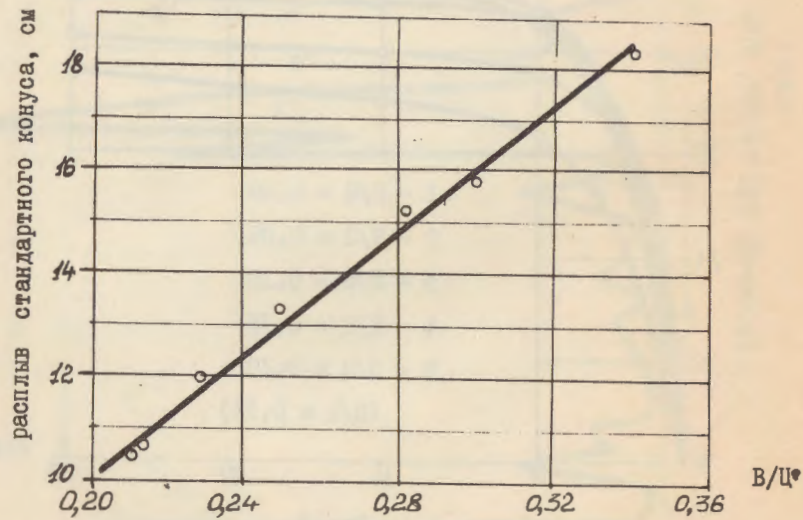


Рис.5

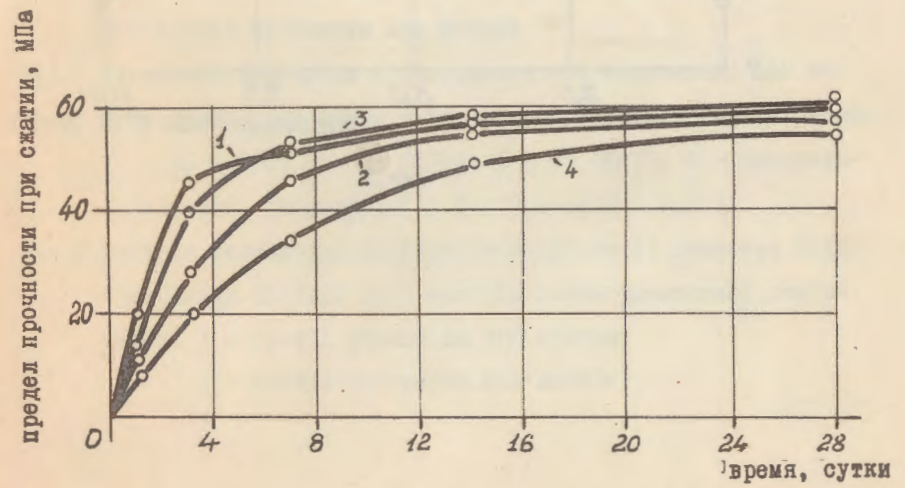


Рис.7

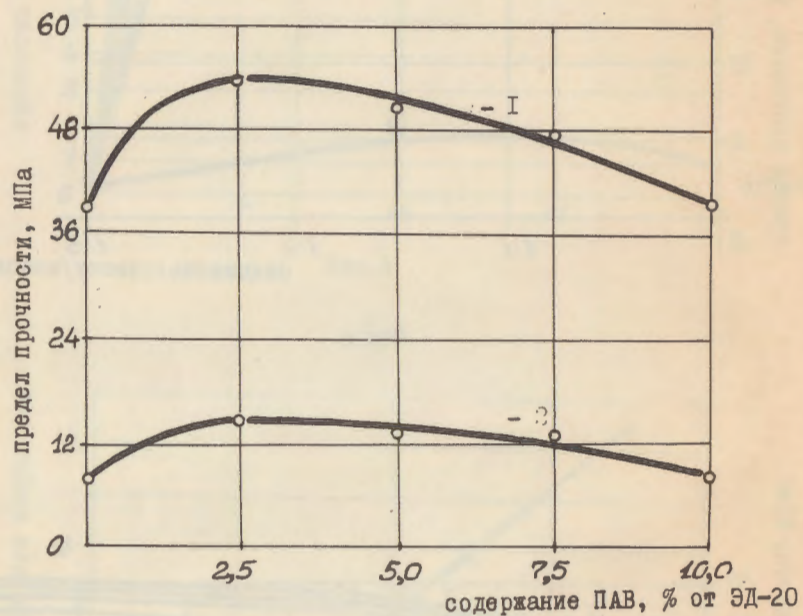


Рис.8

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Распределение остаточной активности по стенкам вакуумной камеры

Рис.2 Зависимость прочности при сжатии от времени твердения ПЦ-смеси на основе различных видов цемента

Рис.3 Зависимость прочности при сжатии от времени твердения ПЦ-смеси, изготовленной на основе БТЦ при различных значениях П/Ц

Рис.4 Зависимость прочности при изгибе от времени твердения ПЦ-смеси, изготовленной на основе БТЦ при различных значениях П/Ц. 1 - П/Ц = 0,00; 2 - П/Ц = 0,05; 3 - П/Ц = 0,10; 4 - П/Ц = 0,15; 5 - П/Ц = 0,20 (В/Ц = 0,33)

Рис.5 Влияние количества воды затворения на подвижность ПЦ-смеси

Рис.6 Влияние количества заполнителя на прочность полимерцементной композиции. 1 - предел прочности при сжатии; 2 - предел прочности при изгибе

Рис.7 Изменение прочности полимерцементной композиции при использовании различных отвердителей эпоксидного олигомера. 1. - УП 606/2; 2 - УП 0633М; 3 - УП 06475; 4 - цементно-песчаный раствор Ц:П = 1 : 1,5 (В/Ц = 0,33)

Рис.8 Влияние количества поверхностно-активного вещества (ПАВ) олигоамида ДА 2120 на прочность полимерцементной композиции. 1 - предел прочности при сжатии; 2 - предел прочности при изгибе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комочков М.М., Лебедев В.И. Практическое руководство по радиационной безопасности на ускорителях заряженных частиц. М.: Энергоатомиздат, 1986, с.8.
2. Зайцев Л.И. Радиационные эффекты в структурах ускорителей. М.: Энергоатомиздат, 1987, с.10.
3. Лебедев В.И., Покровский К.К., Соловьев В.И. Рекомендации по определению радиационной стойкости материалов и узлов ускорителя. Препринт ИФВЭ, ОРМ-79/2, Серпухов, 1979.
4. Беренюк М.А., Заручейский В.Г., Ильин А.Н. и др. Полимерцемент как изоляционный материал для обмоток магнитов. Препринт ИФВЭ, ОП-86-75, Серпухов, 1986.
5. Корневский В.В., Покровский К.К. Повышение надежности систем ускорителей заряженных частиц путем применения радиационно-стойких материалов. В кн.: Материалы X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1987, т.2, с.400.
6. Беренюк М.А., Заручейский В.Г., Ильин А.Н. и др. Полимерцемент - изоляционный материал для обмоток магнитов с повышенной радиационной стойкостью. В кн.: Материалы X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1987, т.2, с.3.
7. Черкинский Ю.С. Полимерцементный бетон, М.: Стройиздат, 1984, с.173.

Рукопись поступила 27 декабря 1988 г.

The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Markaryan St., 2
Yerevan, 375036
Armenia, USSR

В.В.КОРНЕВСКИЙ, К.К.ПОКРОВСКИЙ, А.Л.ТОМАШПОЛЬСКИЙ, А.Г.ИШАНОВ,
Э.А.БАДАЛИН, Г.А.КОШЕЦЯН, В.Ц.НИКОГОСЯН, С.Н.ОГАНЕСЯН

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ
РЕСТАВРАЦИИ МАГНИТНЫХ БЛОКОВ КОЛЬЦЕВОГО УСКОРИТЕЛЯ ЕРФИ

Редактор Л.П.Мукаян
Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 2/II-88г. ВФ- 01966 Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч.изд.л. Тираж 299 экз. Ц. к.
Зак.тип. № 1,0 Индекс 3649 15
065

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, ул. Братьев Аликханян, 2