
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В.Н. Баринов

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
ул. Б. Тульская, 52, Москва, Россия, 115191

В.П. Каменев, М.А. Кожин

ОАО «Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега»
пр. Машиностроителей, 12, Северодвинск, Архангельская обл., Россия, 164509

Н.Н. Кузьмин, В.А. Рогов

Инженерный факультет
Российский Университет дружбы народов
Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 113093

В статье рассматриваются физико-механические свойства композиционного материала «синтегран», дается его сравнительный анализ с традиционными материалами, используемыми в машиностроении и других отраслях народного хозяйства. Учитывая все возрастающую потребность в увеличении контейнерного парка и транспортной тары при обращении с РАО и в целях снижения металлоемкости даются рекомендации по применению композита для изготовления контейнеров. Результаты изучения технологических решений в области переработки композита синтегран в изделия различного назначения позволили создать опытные образцы принципиально нового класса материалов — пекогранитов. Приводится описание технологии изготовления контейнера для хранения и транспортирования радиоактивных отходов.

Общие сведения о композиционном материале (синтегране)

В настоящее время стоят большие проблемы с утилизацией и захоронением радиоактивных отходов, объем которых постоянно увеличивается в результате деятельности человека в военном деле, в области медицины, промышленности и т.д. Кроме того, радиоактивные материалы необходимо транспортировать, упаковывая их в специальные контейнеры.

Обычно захоронение осуществляют в хранилищах, расположенных в земле на глубине порядка 100 метров. Контейнеры выполняются металлическими, бетонными, многослойными, с охлаждением и без.

Материал контейнера должен обладать высокими физико-техническими характеристиками, иметь стойкость к воздействию агрессивных сред, высоких температур и вибраций и задерживать радиоактивное излучение.

Одним из перспективных материалов, из которого можно изготавливать корпус контейнеров, а также стены хранилищ, является композиционный материал «Синтегран».

Название этого материала произошло от слияния двух слов: «синтетический» и «гранит». Композит по основным физико-механическим и эксплуатационным ха-

рактикам аналогичен натуральным гранитам и был разработан для замены чугуна и гранита при изготовлении несущих элементов приспособлений, станков и других механизмов.

В сравнении с чугуном, который традиционно используется при изготовлении несущих элементов станков, синтегран имеет ряд преимуществ:

1) технические:

- более высокие (в 4—6 раз) демпфирующие способности;
- низкая теплопроводность (в 40 раз ниже, чем у чугуна) и, соответственно, малая чувствительность к кратковременному перепаду температур;
- высокая временная стабильность геометрических размеров из-за минимальных внутренних напряжений;
- высокая коррозионная стойкость к воздействию агрессивных сред;

2) технологические:

- очень малая усадка, позволяющая изготавливать детали без последующей механической обработки;
- высокий коэффициент использования исходного сырья, практически равный единице;
- простота и малые габариты используемого оборудования, высокая производительность при малых энергозатратах;
- возможность полной автоматизации технологического процесса.

Синтегран состоит из следующих компонентов.

Полимерное связующее, которое включает в себя эпоксидиановую смолу, менее или более активный разбавитель, отвердитель и различные добавки. Эпоксидиановая смола ЭД-22 является продуктом конденсации эпихлоридгидрина и дифенилолпропана и представляет собой тягучую жидкость желтоватого цвета со следующими свойствами:

- содержание эпоксидных групп, % — 22,1...23,5;
- плотность при 25 °С, г/см³ — 1,65;
- динамическая вязкость при 25 °С, Па.с — 9,5;
- температура вспышки, °С — более 270.

Активные разбавители — моно- и многофункциональные эфиры — представляют собой жидкость со следующими свойствами:

- содержание эпоксидных групп, % — 24...46;
- плотность при 25 °С, г/см³ — 0,9087...1,015;
- динамическая вязкость при 25 °С, Па.с — 0,001...0,04.

Отвердителями являются алифатические амины этиленового ряда типа диэтил амина, триэтилен тетра амина и др. Это слабо окрашенные жидкости со следующими свойствами:

- содержание азота, % — 24...31;
- плотность при 25 °С, г/см³ — 0,95...1,05;
- динамическая вязкость при 25 °С, Па.с — 0,01...0,2.

На рис. 1 представлена зависимость физико-механических характеристик синтеграна от количества связующего.

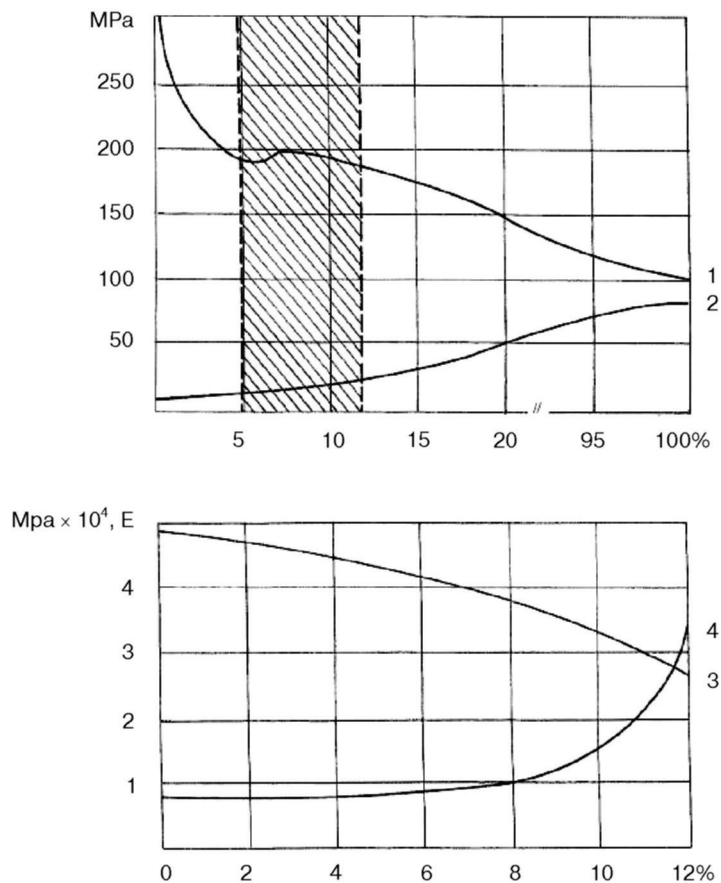


Рис. 1. Зависимость физико-механических характеристик синтеграна от количества связующего:

1 — предел прочности на сжатие; 2 — предел прочности на растяжение;
3 — модуль упругости; 4 — логарифмический декремент колебаний.

Заштрихованная область определяет граничные содержания связующего в синтегроне, используемом для изготовления деталей

Физико-механические свойства самого связующего в отвержденном виде представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики эпоксидного связующего

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Величина
1.	Предел прочности: — при изгибе — при сжатии — при растяжении	МПа	134 105 76
2.	Модуль упругости: — при изгибе	МПа	3 900
3.	Ударная вязкость	Кдж/м ²	1,7
4.	Температура стеклования	°С	44,5
5.	Коэффициент термического расширения	1×10^6 °С	98
6.	Водопоглощение за сутки	%	0,05
7.	Усадка линейная	%	2

Графики показывают, что с увеличением содержания связующего логарифмический декремент колебаний увеличивается, а динамический модуль упругости уменьшается.

На рис. 2 представлена зависимость теплопроводности λ и удельной теплоемкости C_p от содержания связующего.

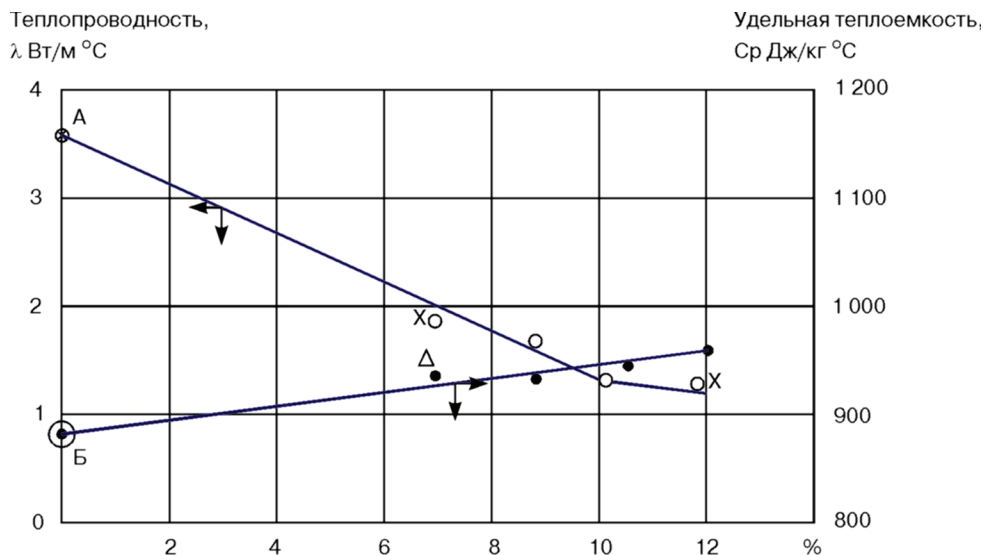


Рис. 2. Зависимость теплопроводности (λ) и удельной теплоемкости (C_p) от содержания связующего:

- , о — для составов с максимальной фракцией 10 мм;
- X, o — для составов с максимальной фракцией 20 мм

На рис. 3 представлена диаграмма реологических состояний связующего синтегранна в процессе отверждения.

В процессе переработки синтеграновая смесь последовательно проходит через ряд реологических состояний, связанных с отверждением связующего. На рис. 3 приведена обобщенная диаграмма этих состояний в координатах: температура отверждения (T) — время отверждения (τ). На оси абсцисс диаграммы фиксируется время до достижения определенных состояний синтеграновой смеси, которые происходят в период изотермического отверждения синтегранна при определенной температуре ($T_{отв}$).

Эти состояния включают в себя следующее: гелеобразование (1), стеклование (2) и полное отверждение (3). Состояние гелеобразования соответствует образованию непрерывной молекулярной сетки в полимерном связующем, при котором синтеграновая смесь переходит из жидкого состояния (5) в золь-гель-эластическое (6) и теряет свою подвижность. С течением времени из золь-гель-эластического состояния синтегран переходит в стеклообразное состояние (9, 9а). Материал становится твердым. При этом возможна распулбка формы.

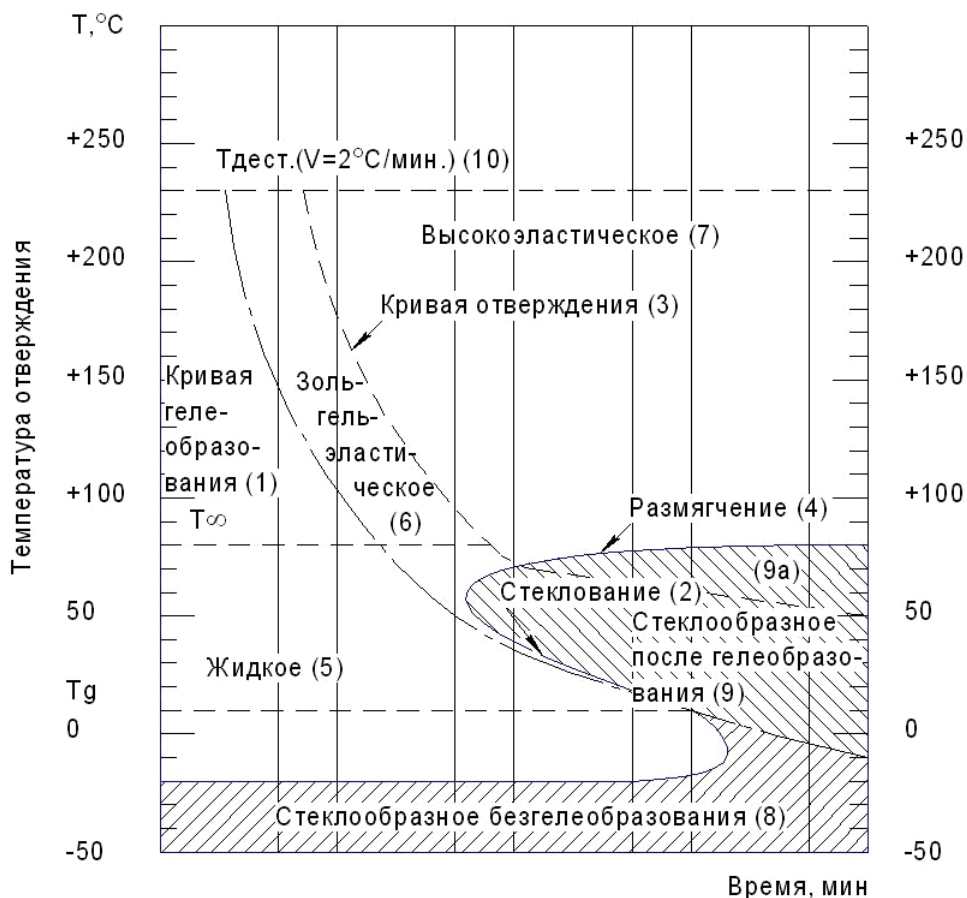


Рис. 3. Диаграмма реологических состояний в координатах температура отверждения — время отверждения — физическое состояние

Область стеклообразного состояния разделяется на две части: верхнюю (9а), соответствующую полностью отвержденному состоянию, при котором в материале завершились все процессы структурообразования и со временем не изменяются свойства материала, и нижнюю область — не полностью отвержденному состоянию, в котором материал, хотя и находится в твердом состоянии, имеет конструктивную прочность, но процессы структурообразования не завершились и со временем, особенно при повышении температуры, могут изменяться свойства материала и, соответственно, размеры деталей.

В области (7) при температурах, превышающих температуру стеклования (T_c) $_{\infty}$, синтегран может находиться в высокоэластическом состоянии. В области (10), выше температуры деструкции $T_{дестр}$, происходит обезуглероживание синтеграна, в результате чего материал разрушается. В области (8) ниже температуры стеклования отдельных компонентов связующего T_{∞} отверждение синтеграна не происходит.

В зависимости от температурного режима отверждения синтегран претерпевает различные изменения, переходя из жидкого в твердое состояние.

При отверждении в интервале температур от 10 до 50 °С синтеграновая смесь последовательно переходит из жидкого подвижного (5) в золь-гель-эластическое неподвижное (6), а затем — в стеклообразное (9) состояние и практически не достигает предельного отверждения.

После достижения области (9) при температурах 0—50 °С синтегран находится в твердом, не полностью отвержденном состоянии, поэтому свойства его со временем меняются.

В интервале 70—80 °С синтеграновая смесь отверждается, переходя из жидкого (5) в золь-гель-эластическое (6), а затем — в стеклообразное (9а) состояние и достигает предельного отверждения.

После достижения области (9а), при температурах 0—80 °С синтегран находится в твердом, полностью отвержденном состоянии, поэтому изменения свойств материала со временем не происходит.

При температурах 80—200 °С синтеграновая смесь при отверждении переходит из жидкого (5) в золь-гель-эластическое (6), а затем в высокоэластическое (7) состояние, достигая предельного отверждения.

После отверждения при понижении температуры ниже температуры стеклования (T_g) $_{\infty}$ синтегран переходит из высокоэластического (7) в стеклообразное состояние (9а).

В высокоэластическом состоянии физико-механические характеристики материала (модуль упругости, коэффициент термического расширения и т.д.) имеют более низкие значения, чем в области стеклообразного состояния (9а). После отверждения синтеграна по 3-му высокотемпературному состоянию при понижении температуры до комнатной полимерная матрица синтеграна теряет часть своей подвижности, в результате чего в материале накапливаются внутренние напряжения, которые отрицательно сказываются на размерной стабильности изделий из синтеграна.

Разработка и исследование составов синтегранов

В зависимости от областей применения разработан ряд составов синтегранов:

— для изготовления корпусных деталей — синтеграны, которые обладают высокой жесткостью, прочностью, стабильностью геометрических размеров и физико-механических характеристик во времени. К этому типу материалов не предъявляются дополнительные требования по высокой износостойкости, низкому коэффициенту трения и т.п., поскольку эти детали не подвергаются механической обработке, а их рабочие поверхности выполняются из других материалов;

— для изготовления специальной оснастки необходимы синтеграны, обладающие вышеперечисленными свойствами, а также возможностью механической обработки;

— для изготовления элементов, к которым предъявляются специальные требования, необходимы синтеграны, обладающие коррозионной стойкостью к агрессивным средам, а также имеющие специальные свойства, например диэлектрические.

Очевидно, что изготавливаемые детали отличаются друг от друга по размеру, массо-габаритным характеристикам, что также влияет на выбор состава синтегранов.

Поскольку компонентами синтегранов являются наполнители, заполнители и полимерное связующее, то от их свойств и соотношения решающим образом зависят и свойства синтегранов.

В качестве заполнителей используются твердокаменные породы — базальты, высокопрочные граниты, габбро-диабазы в виде щебня с размерами зерен от 60 мкм до 20 мм.

По основным физико-механическим характеристикам и минералогическому составу предпочтение отдается габбро-диабазу Карельского щита и гранитам месторождения «Янцево».

В табл. 2 представлены значения основных параметров наиболее предпочтительных заполнителей, позволяющих подбирать составы синтегранов с необходимыми свойствами.

Таблица 2

Характеристики твердокаменных пород различных фракций

№ п/п	Наименование показателя	Един. измерений	Размер фракций, мм для габбро-диабазы				
			менее 0,63	0,63—1,25	2,5—5	5—10	10—20
1	Коэффициент заполнения объема	г/см ³	0,563	0,597	0,632	0,617	0,595
2	Удельная масса	г/см ³	2,78	2,58	2,61	2,66	2,72
3	Пустотность	~	0,437	0,403	0,368	0,384	0,405
4	Пористость	—	0,776	0,675	0,583	0,622	0,681
5	Насыпной вес в сухом виде	г/см ³	1,667	1,632	1,733	1,755	1,765
6	Насыпной вес в мокром	г/см ³	1,563	1,563	1,653	1,640	1,622

Расчеты показывают, что в зависимости от размеров детали, толщины ее стенок и гранулометрического состава заполнителя расход связующего составляет 7—10% (массовых).

По ряду физико-механических характеристик синтегранны соответствуют натуральным гранитам, а по водопоглощению, модулю упругости и пределам прочности при растяжении и изгибе превосходят их. По сравнению с таким конструкционным материалом, как чугун, синтегранны имеют меньшие прочностные показатели, но превосходят его по демпфирующим характеристикам.

Изучение влияния отдельных компонентов на прочностные характеристики синтегранов осуществляют на призмах размером 40 × 40 × 160 мм (модуль упругости и предел прочности при изгибе), кубах 100 × 100 × 100 мм (предел прочности при сжатии) и балках 80 × 80 × 800 мм (логарифмический декремент колебаний, динамический модуль упругости при изгибе, собственная частота колебаний).

В табл. 3 представлены зависимости предела прочности и модуля упругости синтегранов от концентрации связующего.

Таблица 3

Влияние концентрации связующего на предел прочности и модуль упругости при изгибе

№ п/п	Содержание компонентов, % (масс.)			σ изг. МПа	E изг. 10^{-3} МПа
	Связующее	Наполнитель	Заполнитель		
1.	100	0	0	73,3	2,95
2.	75	25	0	68,5	3,65
3.	50	50	0	63,5	8,2
4.	0	0	100	3,56	60,0
5.	15	15	70	32,7	4,5
6.	13	13	74	30,0	5,8
7.	11	11	78	28,2	7,2
8.	10	10	80	26,4	11,4
9.	9	9	82	30,4	26,0
10.	8	8	84	35,6	35,0
11.	7,5	7,5	85	38,0	50,0

Графическое изображение полученных зависимостей представлено на рис. 4 и 5.

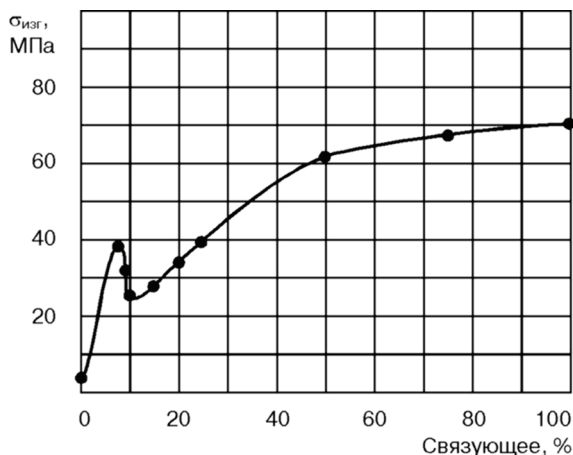


Рис. 4. Зависимость предела прочности при изгибе синтеграната от содержания связующего

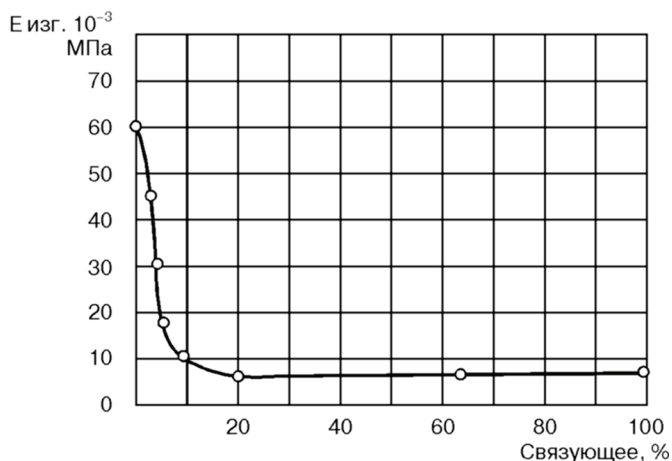


Рис. 5. Зависимость модуля упругости при изгибе синтеграната от содержания связующего

Данные таблицы показывают, что увеличение количества наполнителя с 4,5 до 27,0% (масс.) ведет к снижению предела прочности при изгибе с 63,5 до 0,2 Па, но модуль упругости при этом увеличивается в 6 раз.

Графическое изображение результатов экспериментов представлено на рис. 6 и 7.

Как видно из рис. 5, при увеличении концентрации связующего от 10 до 100% происходит увеличение предела прочности при изгибе от 26,4 до 73,3 МПа для чистого связующего. При уменьшении связующего до 7,5% предел прочности возрастает до 38,0 МПа, что связано со структурными изменениями связующего, которое имеет более тонкую пленку. Обратная зависимость имеет место для модуля упругости. С уменьшением количества связующего менее 10% модуль возрастает с 1,1 до $5,0 \times 10^{-4}$ МПа.

Влияние количества наполнителя на те же показатели представлено в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п	Отношение наполнителя к связующему	σ изг., МПа	E изг. 10^{-3} , МПа
1.	0	73,3	2,5
2.	0,5	63,5	8,2
3.	1	30,4	26,0
4.	1,5	30,8	29,0
5.	2,0	29,4	34,0
6.	2,5	31,1	43,0
7.	3,0	30,2	53,0

Данные таблицы показывают, что увеличение количества наполнителя с 4,5 до 27,0% (масс.) ведет к снижению предела прочности при изгибе с 63,5 до 30,2 МПа, но модуль упругости при этом увеличивается в 6 раз.

Графическое изображение результатов экспериментов представлено на рис. 6, 7.

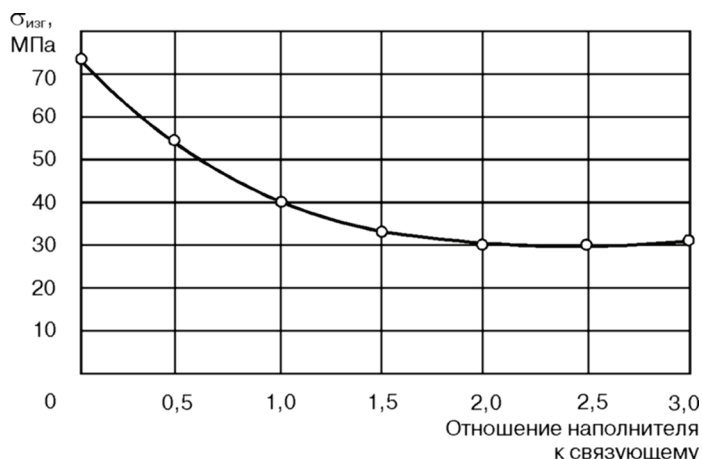


Рис. 6. Зависимость предела прочности при изгибе синтеграна от содержания наполнителя

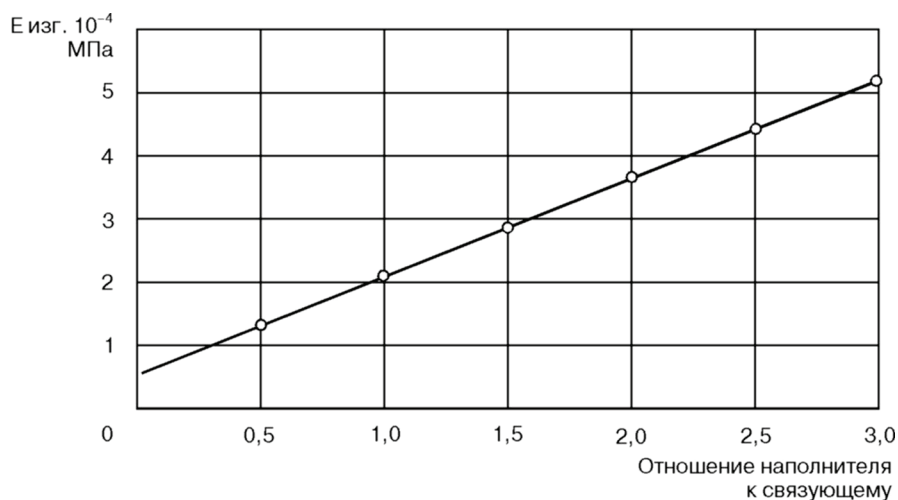


Рис. 7. Зависимость модуля упругости при изгибе синтегрона от содержания наполнителя

Влияние количества и размера максимальной фракции заполнителя на прочностные характеристики синтегрона представлено на рис. 8.

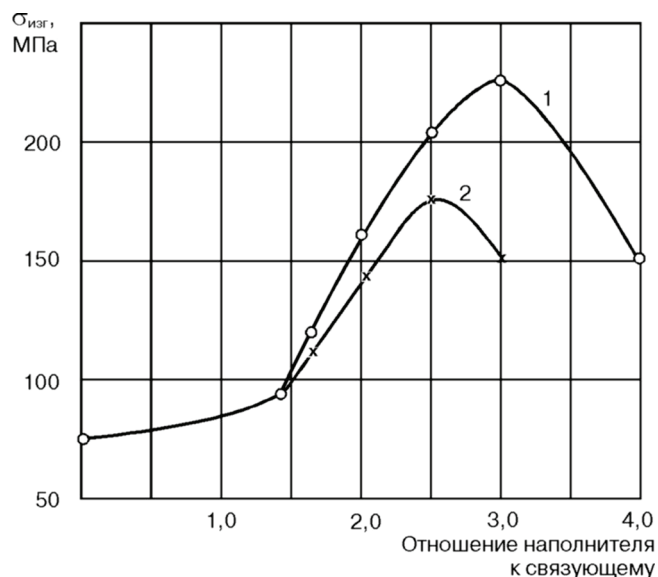


Рис. 8. Зависимость предела прочности при сжатии синтегрона от размера максимальной фракции:

- 1 — состав с максимальной фракцией 20 мм;
- 2 — состав с максимальной фракцией 10 мм

Из графика на рис. 8 видно, что синтегран с максимальной фракцией заполнителя 20 мм имеет предел прочности на 30% выше, чем аналогичный состав с размером максимальной фракции 10 мм.

При исследовании динамических характеристик синтеграны определяются логарифмический декремент колебаний, динамический модуль упругости и собственная частота испытуемого образца с размерами $80 \times 80 \times 800$ мм, подвешенного на кронштейне.

Для определения влияния степени предельного отверждения связующего на исследуемые параметры образцы подвергались исследованию как сразу после достижения определенной конверсии и набора конструкционной прочности, так и в течение последующего их вылеживания.

Результаты испытаний показывают, что значительное изменение логарифмического декремента колебаний происходит в течение первых 6—8 суток после достижения конструкционной прочности. Так, например, для образца № 4 л в течение первых 7 суток меняется от 0,115 до 0,036, а за последующие 128 суток — от 0,036 до 0,024.

Свойства и составы синтегранов

Для каждого конкретного изделия в зависимости от его назначения и конструкции может быть подобран определенный состав композиционного материала. Наибольшее влияние на состав композиционного материала оказывают размеры изделия и толщина его стенок. Теоретические и практические исследования показывают, что максимальная фракция заполнителя должна укладываться в толщине стенки не менее пяти раз. Так, если толщина стенки составляет 60 мм, то максимальный размер фракции заполнителя должен быть 10 мм.

Кроме того, на состав композиционного материала оказывает влияние сложность литейной формы и количество закладных элементов в ней. Если форма имеет перепады сечений литейных каналов и большое число закладных элементов, то необходимо выбирать композиционные материалы, имеющие меньшую вязкость и меньший размер максимальной фракции. Чем более подвижна смесь в процессе виброуплотнения, тем более сложная деталь может быть из нее изготовлена, тем технологичнее сам процесс изготовления детали.

В зависимости от коэффициента технологичности K_T синтеграны можно разбить на пять групп:

- сверхжесткие, $K_T = 1,1—1,2$;
- жесткие, $K_T = 1,25—1,45$;
- нормальные, $K_T = 1,5—1,7$;
- пластичные, $K_T = 1,75—1,9$;
- сверхпластичные, $K_T = 2,0—2,1$.

Сверхжесткие и жесткие смеси в своем составе имеют очень малое количество связующего, и их формирование затруднено из-за необходимости создания избыточного давления. Такие смеси для изготовления ответственных деталей не используются.

Сверхпластичные смеси, наоборот, имеют большое количество связующего. Вследствие этого они не обладают оптимальными физико-механическим харак-

теристиками и используются, в основном, для изготовления второстепенных изделий.

Для изготовления ответственных деталей используются нормальные и пластичные смеси с содержанием связующего 6—10% и 7,5—13% соответственно.

В табл. 5 представлены физико-механические характеристики композиционного материала (синтегран), данные в сравнении с натуральными гранитами и чугунами.

Таблица 5

Основные физико-механические характеристики синтегран

Параметр	Единица измерений	Чугун	Гранит	Синтегран нормальный
Плотность	г/см ³	7,0—7,5	2,6...3,0	2,4...2,7
Прочность — при сжатии; — при растяжении; — при изгибе	МПа	400—900 180—250 160—400	— — 3,5—5,0	180—200 15—20 32—36
Модуль упругости при изгибе $\times 10^{-4}$	МПа	10—12	1,5—2,5	4,5—5,5
Коэффициент Пуассона		0,26	—	0,25—0,4
Теплопроводность	Вт/м °К	75	0,8	0,5—0,9
Коэффициент линейного расширения $\times 10^{-6}$	1/°С	9,0—12,0	7—19,0	12,0—16,0
Водопоглощение за сутки	%	—	0,02—0,1	0,02—0,5
Декремент колебаний	У.е.	0,006—0,008	0,02—0,04	0,06—0,08

Исследования показывают, что по своим физико-механическим характеристикам синтегран может превосходить натуральные граниты. Если в качестве армирующих элементов использовать отдельные волокна или жгуты, ориентированные вдоль линий действия сил и напряжений, то синтегран может по своим прочностным характеристикам превосходить чугуны и стали.

Разработанные составы синтегранов обладают достаточно высокими физико-механическими характеристиками и не уступают материалам, предназначенным для аналогичных целей, например гидробетонам. В табл. 6 представлены сопоставительные данные по синтеграну и гидробетону.

Таблица 6

Сравнительные характеристики синтегран и гидробетона

Параметр	Единица измерений	Синтегран	Гидробетон
Плотность	г/см ³	2,4—2,7	1,7—2,1
Водопоглощение за сутки	%	0,02—0,1	4—8
Прочность при сжатии	МПа	180—200	80—120
Модуль упругости при изгибе $\times 10^{-4}$	МПа	4,5—5,5	1,8—2,1
Склонность к короблению	У.е.	1	4,5
Демпфирование	У.е.	1	0,5—0,6

Значительный интерес представляет применение композитов типа синтегран в строительстве при обустройстве рентгеновских кабинетов в больницах и поликлиниках.

Эти материалы способны в 4—6 раз ослабить рентгеновское излучение по сравнению с традиционно используемыми материалами (свинец, бетон и пр.). Кроме того, в процессе изготовления изделия из синтеграна можно заранее проложить трубопроводы, по которым может быть организовано охлаждение конструкции.

Проведенные в Российском университете дружбы народов (кафедра экологии) исследования защитных свойств образцов, выполненных из высоконаполненного композиционного материала, показали их высокую эффективность в ослаблении ионизирующего излучения. Результаты приведены в табл. 7.

Таблица 7

Интенсивность, источник		ОБРАЗЕЦ					
Co ⁶⁰	F ₀	2160	2160	2160	2160	2160	2160
	F ₃	1516	1515	1555	1567	1553	1583
Коэффициент ослабления = 1,4							
Cs ¹³⁷	F ₀	8550	8550	8550	8550	8550	8550
	F ₃	602	612	572	592	568	544
Коэффициент ослабления = 14,2							

Исследовались образцы в форме параллелепипеда размером 40 × 40 × 160 мм. При измерениях был получен незначительный разброс результатов: в пределах погрешности измерений.

Сравнение свойств известных защитных материалов и исследуемых образцов приведено в табл. 8.

Таблица 8

Материал	Удельный вес, г/см ³	Толщина стенки, см
1. Свинец	11,4	2,6
2. Бетон	2,3	28
3. Железо	7,9	7,5
4. Стекло свинцовое СТФ	6,7	5
5. Стекло свинцовое ТФ-5	4,77	7,5
6. Исследуемые образцы	2,2	4,0

Из таблицы видно, что исследуемые образцы имеют высокие защитные свойства по гамма-излучению Cs¹³⁷.

В 2008 году авторами статьи запланировано проведение полномасштабных натуральных испытаний синтеграна с целью оценки возможности его промышленного применения для изготовления контейнеров и упаковочной тары для хранения и транспортирования радиоактивных отходов.

Использование технологических решений в области переработки композита синтегран в изделия различного назначения позволило создать опытные образцы принципиально нового класса материалов — пекогранитов, которые также могут быть использованы для изготовления контейнеров и транспортной тары.

Известно, что одним из наиболее стойких материалов к воздействию высоких температур и ионизирующему излучению являются графиты и графитоподобные структуры. Известно также, что для захоронения РАО используются шахты в скальных породах.

Предлагаемое техническое решение основывается на этих двух известных фактах, а именно предлагается композиционный материал на базе связующего материала и минерального заполнителя. В качестве связующего материала планируется использование нефтяных пеков, представляющих отходы от пиролиза нефти и дистиллятных крекинг-остатков. В качестве минерального заполнителя — узкие фракции твердокаменных пород (габбро-диабаз и т.п.).

В ходе исследования нефтяных пеков методами поверхностного натяжения, спектроскопии и рентгеноструктурного анализа было установлено, что практически все образцы в большей или меньшей степени содержат гетерогенные структуры, состоящие из аморфно-изотропной матрицы и графитоподобных мезаморфных структурных образований. Для каждого состава пека соотношение этих составляющих различно. При воздействии температуры в интервале 200—1100 °С в нефтяных пеках, содержащих максимальное количество графитоподобных мезаморфных образований, последние проявляют значительную склонность к графитизации с образованием мезаморфных графитоподобных структур. Аналогичный эффект проявляется и при воздействии дозы ионизирующего излучения в 1000 Мгр (Co⁶⁰).

Предлагаемый контейнер изготавливается из композиционного материала, в состав которого входят отходы (до 70%) переработки природных твердокаменных пород (гранит, базальт, габбро-диабаз) в виде 3—4 фракций и связующее — отходы нефтепереработки — определенные фракции пеков.

Преимуществом композиционных материалов перед другими природными материалами (гранит, диабаз, графит и др.), традиционно используемыми для защиты от радиации, является его достаточно высокая технологичность: из него можно формовать элементы достаточно сложных форм, наполнять их при необходимости закладными элементами из других конструкционных материалов.

Особенностями композиционных материалов, как материалов, не подвергающихся существенным изменениям в ходе воздействия ионизирующего излучения, является то, что при воздействии последнего и температуры происходит процесс графитизации связующего композиционного материала — пека и переход его в графитоподобное состояние. Таким образом, за счет наличия в материале до 70% каменной составляющей КМ обладает высокими физико-механическими и деформационными характеристиками.

Переработка материала в конструкционные элементы осуществляется в три этапа.

I этап включает подготовку твердокаменной части КМ (дробление, рассев и дозирование этой составляющей).

II этап состоит из смешения в смесителе периодического действия при температуре 150—200 °С фракций твердокаменной составляющей и дозированного количества пека (до 30%). Указанная температура необходима для уменьшения вязкости пековой составляющей и лучшего перемешивания формовочной массы. Процесс перемешивания занимает 3—5 минут до достижения однородности.

III этап включает подачу формовочной массы из смесителя в заранее подготовленную формующую оснастку, в которой происходит формирование сборочной единицы с прессованием под давлением порядка 5 атм и выдержка до полной готовности.

Сырьевая база для производства изделий на базе пекогранитов не ограничена, так как представляет собой отходы камне- и нефтепереработки, утилизация которых — весьма непростая задача.

Для изготовления конструкций с объемом выпуска до 500 сборочных единиц в год требуется создание мини-завода на площади 200—250 м². Отапливаемые помещения должны быть обеспечены магистральным газом, электроэнергией, сжатым воздухом, водой. Для хранения и доработки минеральной части компаунда необходимы «холодные» площади (80—100 м²).

На рис. 10 представлен сертифицированный металлический контейнер для слабоактивных твердых радиоактивных отходов (ТРО), используемый в составе пункта первичной переработки ТРО на одном из предприятий. Предлагаемые композиционные материалы могут быть использованы для изготовления подобных контейнеров и транспортной тары, что позволит существенно снизить металлоемкость производства, стоимость и повысить срок службы этих изделий.



Рис. 10. Сертифицированный контейнер ТРО

**TENTATIVE ESTIMATION OF POSSIBILITIES
OF USE OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS
FOR INCREASE OF RELIABILITY OF STORAGE
AND THE BURIAL PLACE OF THE RADIOACTIVE WASTE**

V.N. Barinov

Institute of problems of safe development
of atomic engineering of the Russian Academy of Sciences
B. Tulskaia str., 52, Moscow, Russia, 115191

V.P. Kamenev, M.A. Kozhin

OAO «Scientifically-research design-technological bureau «Onega»
avenue of Machine engineers, 12, Severodvinsk, the Arkhangelsk region, 164509

N.N. Kuzmin, V.A. Rogov

Engineering faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoye shosse., 8/5, Moscow, Russia, 113093

In article are considered fisic-mechanical properties of a composite material «Sintegran», their comparative analysis with the traditional materials used in mechanical engineering and other branches of a national economy is given. Considering escalating requirement for increase in container park and transport container at the reference from the Russian Open Society and with a view of metal consumption decrease, recommendations about application of a composite for manufacturing of containers are made. Results of studying of technological decisions in the field of composite processing Sintegran in products of different function have allowed to create pre-production models of essentially new class of materials — pekogranits. The description of manufacturing techniques of the container for storage and transportation TPO on their basis is resulted.