УДК 691.17 : 504.06

АНАЛИЗ ВИДОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОСТАВЕ ПОЛИМЕР-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ И РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИХ ОЦЕНКИ

© 2026 А.В. Васильев, М.Ю. Пентешин

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 11.05.2026

Рассмотрены виды вредных веществ в различных видах полимер-неорганических композитов. Выделены основные типы полимерных матриц. Для каждого типа определен перечень содержащихся в них вредных компонентов. Предложена расчетная модель оценки вредных веществ в составе полимер-неорганических композитов. Описана общая последовательность обработки данных. Рассмотрены основные исходные данные и основные обозначения, используемые в предлагаемой расчетной модели. Использование результатов анализа видов вредных веществ и разработанной расчетной модели позволит осуществить расчетную оценку вредных веществ в составе полимер-неорганических композитов.

Ключевые слова: полимер-неорганические композиты, вредные вещества, характеристики, расчетная модель, оценка

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-238-245
EDN: GXKZXN

Исследование выполнено при поддержке междисциплинарного гранта Российского научного фонда № 25-69-00012

В настоящее время наблюдается рост применения полимерных композитных материалов в различных отраслях, в том числе в строительстве [1-3, 10, 11, 13-16]. Полимер-неорганические композиты различных видов, в том числе на эпоксидном связующем с волокнистыми и дисперсными наполнителями, применяются в строительстве и технике как конструкционные и функциональные материалы. При этом их производство и использование могут привести к негативному воздействию на окружающую среду и здоровье человека [4-9, 18-20].

На стадиях производства и переработки полимер-неорганических композитных материалов возможно выделение вредных веществ – продуктов отверждения связующего и сопутствующих соединений – как в водную среду (при контакте композита с водой), так и в воздух рабочей зоны.

Для систематизации и обобщения данных о токсичных и вредных веществах в полимер-неорганических композитах необходимо, прежде всего, выделить основные типы полимерных матриц – реактопласты и термопласты – и для каждого типа определить перечень содержащихся в них опасных компонентов, а также продуктов разрушения материала в процессе эксплуатации под воздействием внешних факторов.

Кроме того, нужно учитывать, что источниками загрязнений могут быть и неорганические наполнители, такие как стекловолокно, золошлаковые отходы и другие неорганические наполнители, а также технологические добавки – стабилизаторы, отвердители, растворители, катализаторы, пластификаторы.

Такой подход позволит выявить наиболее опасные загрязнители и оценить, на каких стадиях жизненного цикла материала — от производства сырья и синтеза полимерных композитов до утилизации отходов — их эмиссия наиболее выражена.

Комплексный анализ результатов систематизации и обобщения данных позволит сформировать базу данных вредных веществ, содержащихся в полимер-неорганических композитах, для построения математической модели образования и распространения загрязнений окружающей среды и последующей разработки мер по минимизации экологического ущерба.

Термопласты нашли широкое применение в качестве связующей матрицы в полимер-неорганических композитах, ввиду того, что при нагревании они размягчаются, переходят в вязкоте-

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность и управление качеством», директор научно-исследовательского центра техносферной безопасности и новых материалов. E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru

Пентешин Михаил Юрьевич, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и управление качеством». E-mail: penteshin01@mail.ru

кучее состояние, а при охлаждении вновь затвердевают, причём этот процесс может повторяться многократно без изменения химического состава материала. Они обладают линейной структурой, и именно эта особенность позволяет термопластам хорошо перерабатываться и наделяет их возможностью рециклинга. Однако такое весомое преимущество частично нивелирует наличие токсичных исходных мономеров в составе термопластов, которые являются источниками загрязнений на стадии производства, при высокотемпературной переработке и термической утилизации.

Полиамид-6 – основной конструкционный термопласт, используемый в стеклопластиках. Его производство связано с выбросами оксидов азота (NO и NO_2), образующихся при синтезе капролактама. При переработке возможно выделение паров капролактама, аммиака (NH_3) и летучих органических соединений. Термическая утилизация сопровождается образованием оксида и диоксида углерода (CO и CO_2), а также цианистого водорода (HCN), который относится к первому классу опасности в воздухе рабочей зоны. Именно образование HCN делает полиамид-6 одним из наиболее опасных термопластов при термической утилизации.

Поликарбонат выделяется среди термопластов тем, что его производство основано на использовании фосгена ($COCl_2$) – вещества первого класса опасности, обладающего удушающим действием.

Второй ключевой компонент – бисфенол А ($C_{15}H_{16}O_2$), способный нарушать работу эндокринной системы. При переработке возможны выделения остаточного бисфенола А и фенола (C_6H_5OH), а при термической утилизации – фенола и оксидов углерода. Наличие фосгена в цепочке производства делает поликарбонат одним из самых проблемных термопластов с точки зрения промышленной безопасности.

Полипропилен и полиэтилен – полиолефины, получаемые из пропилена и этилена соответственно. Их производство сопровождается выбросами оксидов азота. При переработке (литьё, экструзия) выделяются толуол (C_7H_8), ксилол (C_8H_{10}), ацетальдегид (C_2H_4O) и формальдегид (CH_2O). Формальдегид относится ко 2-му классу опасности, что определяет его вклад в токсичность продуктов переработки полиолефинов. В процессе эксплуатации образуются микрочастицы полимера и наполнителя, а при термической утилизации – оксиды углерода и формальдегид.

Поливинилхлорид – ещё один из наиболее распространённых термопластов, используемый в композитах со стекловолокном. В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 его производство связано с использованием винилхлорида (C_2H_3Cl, 1-й класс опасности, канцероген) и 1,2-дихлорэтана ($C_2H_4Cl_2$, 2-й класс), а также с риском выбросов ртути при ацетиленовом процессе. При переработке (экструзия, литьё) выше 150 °C выделяется хлороводород (HCl, 2-й класс), а также возможна эмиссия летучих органических соединений (фенол, формальдегид). В процессе эксплуатации возможна миграция пластификаторов (фталатов) и термостабилизаторов (соединений свинца и кадмия, первый класс опасности). Термическая утилизация поливинилхлорида сопровождается образованием диоксинов– стойких органических загрязнителей 1-го класса опасности, а также HCl и оксидов углерода. Сочетание токсичного мономера, опасных добавок и образования диоксинов при утилизации делает поливинилхлорид ещё одной из наиболее экологически проблемных термопластичных матриц.

Полиуретан – полимер, который может быть как термопластичным, так и термореактивным в зависимости от химической структуры. Производство термопластичного полиуретана связано с использованием фосгена (первый класс опасности) для получения изоцианатов. При переработке выделяются летучие изоцианаты (толуилендиизоцианат, дифенилметандиизоцианат), являющиеся сильными сенсибилизаторами и способные вызывать профессиональную астму. В процессе эксплуатации происходит термоокислительная деградация с выделением формальдегида (CH_2O), ацетальдегида (C_2H_4O) и акролеина (C_3H_4O). Акролеин и формальдегид относятся ко второму классу опасности, что усугубляет экологический профиль полиуретана на стадии эксплуатации. Термическая утилизация полиуретанов сопровождается образованием оксидов азота, оксидов углерода и цианистого водорода (первый класс опасности в воздухе рабочей зоны). Сочетание фосгена на производстве, изоцианатов при переработке, альдегидов при эксплуатации и HCN при утилизации делает полиуретановую матрицу наиболее экологически опасной среди термопластов.

Таким образом, наиболее опасными веществами в рассмотренных термопластичных матрицах являются фосген, цианистый водород и диоксины. Наибольший вклад в эмиссию загрязнителей вносят этапы производства и термической утилизации, а полиуретановая и поливинилхлоридная матрицы носят наиболее экологически опасный характерна всех стадиях жизненного цикла.

Реактопласты являются наиболее токсичной группой полимерных матриц. Полимеры, состоящие из мономеров, являются мутагенными и канцерогенными веществами, к которым относятся эпоксидные смолы и стирольные сополимеры (полиэфирные смолы) [19]. Сшитая структура реактопластов не позволяет перерабатывать их, а при термических методах утилизации выделяется большое количество опасных летучих соединений. В пункте 6.2 ГОСТ 33369-2015 «Реактопласты, армированные волокном, для усиления и восстановления строительных конструкций» отмечается, что при подготовке производства и механической обработке реактопластов в воздушную среду

рабочей зоны выделяются пары стирола и ацетона, фрагменты армирующих волокон, вызывающие раздражение слизистых оболочек глаз, кожи, зуд, оказывающие фиброгенное воздействие на верхние дыхательные пути. К тому же при попадании смол на кожу рук, появляются раздражение и дерматиты.

На неотверждённые эпоксидно-диановые смолы распространяется стандарт ГОСТ Р 56211-2014 «Смолы эпоксидно-диановые неотверждённые. Технические условия», определяющий следующие марки смолы: ЭД-22, ЭД-20, ЭД-16, ЭД-14, ЭД-10, ЭД-8. При формовании и отверждении выделяются эпихлоргидрин, толуол и летучие амины. Эпихлоргидрин относится ко 2-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 и является канцерогенно опасным веществом, что определяет его как приоритетный загрязнитель на этапах производства и отверждения. В процессе эксплуатации возможна миграция нефтепродуктов в водную среду. При термической утилизации образуются оксиды углерода, фенол и формальдегид (второй класс опасности).

На полиэфирные ненасыщенные смолы распространяется стандарт ГОСТ 27952-2017 «Смолы полиэфирные ненасыщенные. Технические условия», устанавливающий следующие марки смолы: ПН-1 и ПН-609-21М. Токсичность смолы ПН-1 определяется наличием стирола, массовая доля которого составляет 30–33 %; токсичность смолы ПН-609-21М — наличием толуола в составе растворителя. Стирол относится к 3-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 и классифицируется как возможный канцероген (IARC 2B), что делает его основным загрязнителем на этапах формования и отверждения. При термической утилизации выделяются стирол, толуол, оксиды углерода и летучие органические соединения.

На жидкие фенолоформальдегидные смолы распространяется ГОСТ 20907-2016 «Смолы фенолоформальдегидные жидкие. Технические условия», устанавливающий, в частности, марки СФЖ-3013, СФЖ-3014 и СФЖ-323. Токсичность этих смол определяется возможностью выделения паров фенола и формальдегида, а для марки СФЖ-323 — также ацетона. Формальдегид относится ко второму классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 и классифицируется как канцероген 1-й группы (IARC 1), а фенол - ко второму классу опасности. Выделение этих веществ происходит на всех этапах жизненного цикла. Сочетание двух высокоопасных веществ на всех стадиях делает фенолформальдегидную матрицу наиболее экологически опасной среди реактопластов.

Винилэфирные смолы не имеют единого ГОСТа; их марки устанавливаются техническими условиями производителей (например, Девинил 950 ТГ, Derakane 510A-40, SWANCOR 901). По химическому строению они близки к эпоксидным, но отверждаются, как полиэфирные, с помощью стирола. В их составе присутствуют эпихлоргидрин (второй класс опасности), бисфенол А, метакриловая кислота и стирол (третий класс опасности, канцероген IARC 2B). При формовании и отверждении выделяются стирол и метакрилаты; при термической утилизации образуются оксиды углерода, стирол, формальдегид и акролеин.

Таким образом, наиболее опасными компонентами реактопластичных матриц являются формальдегид, эпихлоргидрин и фенол. Наибольший вклад в эмиссию загрязнителей вносят этапы производства, формования и отверждения, термической утилизации. Наиболее опасной с экологической точки зрения следует считать фенолформальдегидную матрицу, поскольку она сочетает в себе сразу два опасных вещества – фенол и формальдегид на всех этапах жизненного цикла фенолформальдегидной смолы.

Помимо полимерной матрицы, источником вредных веществ в полимер-неорганических композитах является неорганический наполнитель. Наиболее распространённым армирующим наполнителем остаётся стекловолокно, однако в строительной отрасли всё активнее применяются изолошлаковые отходы.

Стекловолокно представляет собой неорганический материал, получаемый из расплава стекла различных типов: Е, ВМП, ВМ-1, ВМД, 7А, С, ЕК, 273А, А-2, ЩС, А, Д. Основным компонентом стекловолокна является кремнезём, или диоксид кремния (SiO_2), получаемый главным образом из кварцевого песка. Химический состав стекловолокна определяют оксиды, входящие в его строение в зависимости от типа стекла: тип Е – Al_2O_3,B_2O_3,SiO_2 (основа), щёлочи (Na_2O, K_2O); тип ВМП и ВМ-1 –MgO, Al_2O_3, SiO_2 (основа); тип ВМД– MgO, Al_2O_3, CaO, SiO_2 (основа); тип 7А и С – CaO, SiO_2 (основа), щёлочи (Na_2O, K_2O), добавки ZrO_2 или B_2O_3; тип ЕК, 273А, А-2– Al_2O_3, CaO, SiO_2 (основа), щёлочи (Na_2O, K_2O) 1 %, добавки ZrO, TiO_2; тип ЩС – CaO, SiO_2 (основа), щёлочи (Na_2O, K_2O), ZrO_2; тип А – CaO, SiO_2 (основа), щёлочи (Na_2O, K_2O); тип Д – B_2O_3, SiO_2 (основа). В связанном состоянии эти оксиды относительно инертны, однако при механическом износе, химической коррозии или термической деструкции возможно высвобождение ионов металлов (Al, Mg, Ca, Zr, Ti, Na, K) и образование микро- и наночастиц.

Для улучшения адгезии стекловолокна к полимерной матрице на его поверхность наносят технологические добавки – замасливатели. В их состав входят минеральные масла, нефтяные остатки, парафин. Именно эти органические компоненты замасливателя являются источником нефтепро-

дуктов, мигрирующих в водную среду. Экспериментально подтверждено, что при контакте эпоксидных стеклопластиков с дистиллированной водой концентрация нефтепродуктов в вытяжке составляет от 3,98 до 4,32 мг/дм^3 (протоколы КВВ-13-26 - КВВ-24-26, полученные в рамках гранта РНФ –проект № 25-69-00012).

Также известно, что в состав замасливателей могут входить добавки для снижения выщелачивания стекла, например соединения цинка (карбонат цинка, сульфат цинка) и силикат натрия.

В ГОСТ Р 53237-2008 «Стекловолокно. Общие требования безопасности при производстве и переработке» содержатся сведения о контролируемых вредных веществах в воздухе рабочей зоны. В процессе получения стекловолокна работники подвергаются воздействию канцерогенных химических веществ, в том числе формальдегида, эпихлоргидрина, этановой кислоты и аэрозоля минерального нефтяного масла. В воздух рабочей зоны могут поступать дибутилсебацинат, дибутилфталат, соединения хрома шестивалентного, уксусная кислота, этиловый спирт. Содержащиеся в замасливателях вредные вещества представляют опасность при загрязнении не только воздушной среды, но и кожных покровов работников, а некоторые компоненты (фенолформальдегидные смолы, триэтаноламин, эпихлоргидрин) являются аллергенами.

При механическом износе, дроблении отходов и переработке образуются микро- и наночастицы стекловолокна. Вдыхание кристаллических частиц кварца приводит к необратимой потере эластичности лёгких – силикозу, который прогрессирует даже после окончания воздействия пыли.

Золошлаковые отходы образуются при сжигании твёрдого топлива на теплоэлектростанциях и представляют собой смесь негорючих веществ в виде золы, шлака и небольшого количества недожога. Различают тонкодисперсную фракцию – золу уноса и более грубую смесь золы и шлака. На такие смеси установлен стандарт ГОСТ 25592-2019 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия». В их химический состав входят оксиды: кремния (SiO_2), алюминия (Al_2O_3), железа (Fe_2O_3, FeO), кальция (CaO), магния (MgO), а также тяжёлые металлы: цирконий (Zr), марганец (Mn), ванадий (V), хром (Cr), никель (Ni), кобальт (Co), свинец (Pb), медь (Cu), цинк (Zn) и другие[6, 7].Известно, что токсичные компоненты золошлаковых отходов при длительном хранении в отвалах способны мигрировать в почву и грунтовые воды [12].Однако экспериментально доказано, что в композитах с 15–25 % золы уноса и золошлака выщелачивание вредных веществ не наблюдается (в отличие от образцов без наполнителя), а в композите с поливинилхлоридной матрицей и золой уноса в качестве наполнителя вредные вещества не высвобождаются даже при контакте с водой [11].

Разработана расчетная модель оценки вредных веществ в составе полимер-неорганических композитов. Её особенность состоит в совмещении двух разнородных источников информации о составе. Первый – химико-экологические показатели газовых выбросов, которые нормируются и агрегируются в интегральные индексы. Второй – структурно-морфологические признаки образца, извлекаемые из снимка: распределение наполнителя в матрице влияет на однородность материала и потому рассматривается как самостоятельный фактор сравнительной оценки. Объединение химической и структурной информации повышает различающую способность итогового ранжирования составов.

Рассматривается набор из N составов композита. Состав с номером j задается типом наполнителя, типом отвердителя и массой наполнителя m. В исследуемом наборе наполнитель и отвердитель – это категориальные факторы, а масса – непрерывный фактор. Каждому составу сопоставлены показатели водной вытяжки и газовых выбросов, а также одно или несколько изображений структуры образца.

Необходимо нормировать концентрации компонентов относительно контрольных порогов и получить относительные уровни и интегральные индексы водной и воздушной сред. Далее необходимо построить модель зависимости концентраций от химического состава композитов и оценить их экологическое качество.

Входными величинами служат факторы состава, таблицы концентраций по двум средам, изображения структуры и параметры технологического режима. Выходными – относительные уровни и коэффициенты превышения, интегральные индексы, параметры моделей распространения и выделения, структурные признаки и итоговый индекс потенциальной экологической нагрузки с классом и рангом состава. Общая последовательность обработки данных показана на рисунке 1.

Рассмотрим основные исходные данные и основные обозначения, используемые в предлагаемой расчетной модели (таблица 1). Индекс j нумерует компоненты водной вытяжки, индекс k– компоненты газовых выбросов. Один символ используется в одном смысле по всему тексту. В частности, разнесены константа удаления в воздухе и константа выделения в водную среду.

Перечень некоторых компонентов вредных веществ, входящих в интегральные индексы, приведен в таблице 2.

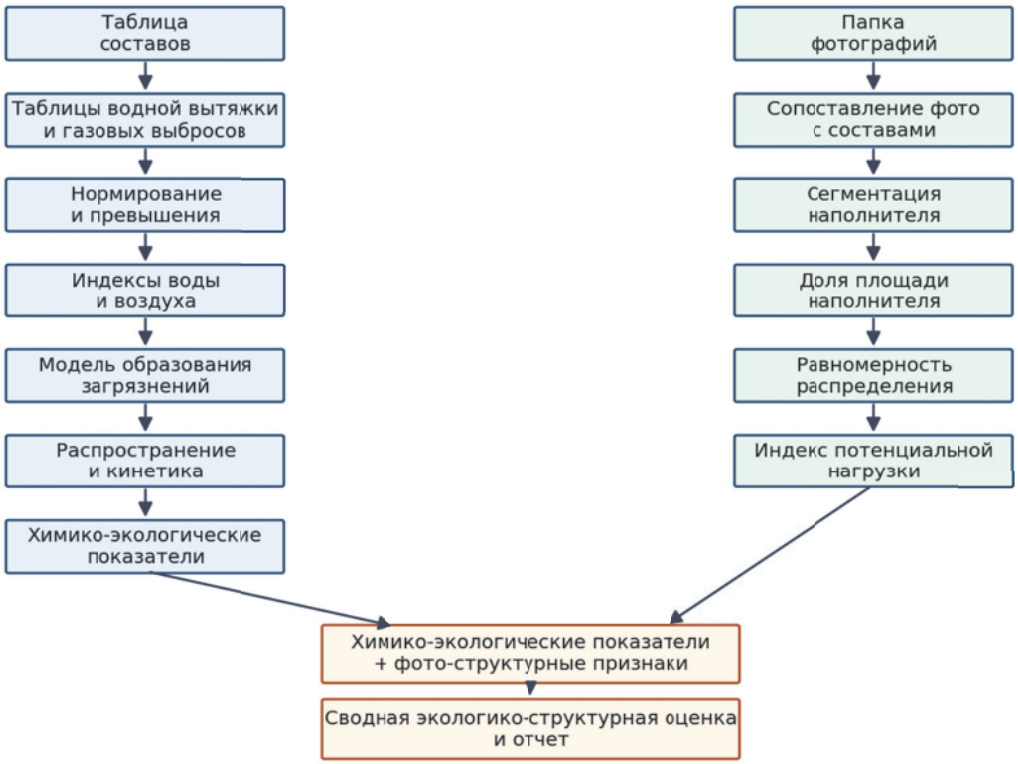

Рисунок 1 – Расчетная схема обработки данных

Таблица 1– Входные величины расчетной модели

Группа	Обозначение	Единица	Назначение
Номер состава	j	—	Идентификатор рецептуры
Масса наполнителя	m	г	Непрерывный фактор состава
Тип наполнителя	d^f	—	Категориальный фактор
Тип отвердителя	d^h	—	Категориальный фактор
Концентрация в воде	C_j	мг/л	Показатель водной среды
Концентрация в воздухе	C_k	мг/м^3	Показатель воздушной среды
Снимок структуры	—	—	Источник структурных признаков
Режим (T, τ, Q, V)	—	°C, мин, м^3/ч, м^3	Параметры камерной модели

Таблица 2– Компоненты вредных веществ, входящие в интегральные индексы

Компонент	Обозначение	Среда	Единица
Общий органический углерод	C_{TOC}	вода	мг/л
Фенол	$C_{\text{фен}}$	вода	мг/л
Формальдегид	$C_{\text{фор}}$	вода	мг/л
Амины	$C_{\text{ам}}$	вода	мг/л
Бисфенол А	$C_{\text{БФА}}$	вода	мг/л
Эпихлоргидрин	$C_{\text{ЭХГ}}$	вода	мг/л
Летучие органические соединения	$C_{\text{ЛОС}}$	воздух	мг/м^3
Формальдегид	$C_{\text{фор, в}}$	воздух	мг/м^3
Фенол	$C_{\text{фен, в}}$	воздух	мг/м^3
Амины	$C_{\text{ам, в}}$	воздух	мг/м^3
Оксид углерода	C_{CO}	воздух	мг/м^3
Пыль (аэрозоль)	$C_{\text{пыль}}$	воздух	мг/м^3

Чтобы сопоставлять разнородные показатели, концентрация каждого компонента приводится к безразмерному относительному уровню – отношению концентрации к ее контрольному порогу:

$$q_j = \frac{C_j}{L_j}, \quad (1)$$

где C_j– концентрация j-го компонента, L_j – его контрольный порог.

Значение $q_j < 1$ означает уровень ниже порога, $q_j = 1$ – на пороге, $q_j > 1$ – превышение. Именно величина q_j используется в программе как коэффициент превышения и непосредственно входит в интегральные индексы и в ранжирование составов.

Зависимость концентрации компонента вредного вещества от факторов состава описывается регрессионной моделью. Категориальные факторы (тип наполнителя и тип отвердителя) вводятся индикаторными переменными d, принимающими значения 0 или 1.Непрерывный фактор – нормированная масса наполнителя z. Реализованная модель имеет вид:

$$C = b_0 + \sum_g b_g^{(f)} d_g^{(f)} + \sum_g b_g^{(h)} d_g^{(h)} + b_z z + b_{zz} z^2 + \sum_g b_{zg} z d_g^{(f)} + \varepsilon, \quad (2)$$

где b_0– свободный член, $b_g^{(f)}$ и $b_g^{(h)}$– коэффициенты при индикаторах наполнителя и отвердителя, b_z и b_{zz} – коэффициенты при массе и ее квадрате, b_{zg} – коэффициенты взаимодействия массы с типом наполнителя, ε– остаток.

Категориальные факторы входят только линейно: для бинарного индикатора $d^2 \equiv d$, поэтому квадраты и попарные произведения индикаторов вырождены и из модели исключаются; квадратичный член и взаимодействия относятся к непрерывному фактору. Квадратичный член включается в режиме поверхности отклика и/или взаимодействия – при их явном выборе. Масса нормируется стандартизацией:

$$z = \frac{(m - \overline{m})}{s_m}, \quad (3)$$

где $\overline{m}$ и s_m– среднее и стандартное отклонение массы по набору составов.

Помимо линейной модели и поверхности отклика, в расчетной модели доступны ансамблевые модели (случайный лес, градиентный бустинг) и регрессия частных наименьших квадратов.

В дальнейшем с использованием разработанной расчетной модели возможно проведение расчетной оценки вредных веществ в составе полимер-неорганических композитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батаев, А.А.* Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
2. *Бутусов, О.Б.* Компьютерный анализ текстурно фрактальных характеристик микрофотографий алюмосиликатной стеклокерамики / О.Б. Бутусов, В.П. Мешалкин // Неорганическая химия – фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов: Матер. Науч. Конф. – 2016. – С. 30-32.
3. *Бутусов, О.Б.* Текстурно-фрактальный анализ алюмосиликатной стеклокерамики / , О.Б. Бутусов, В.П. Мешалкин, Л.А. Орлова, Н.Е. Щеголева, А.Н. Кабанов// Теоретические основы химической технологии. – 2016. – Т. 50. – № 2. – С. 194-199.
4. *Васильев, А.В.* Особенности исследования звукоизолирующих и звукопоглощающих характеристик полимерсодержащих композитных материалов / А.В. Васильев // Математические методы в технологиях и технике. – 2025. – № 10. – С. 53-56.
5. *Васильев, А.В.* Методы и подходы к исследованию экологических характеристик полимерсодержащих композитных материалов / А.В. Васильев // Материалы Всероссийской научно-образовательной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности-2025», – Казань: Изд-во КНИТУ, 2025, – С. 787-793.
6. *Васильев, А.В.* Методика определения состава и свойств полимерсодержащих композитных материалов строительного назначения на основе активности радионуклидов и её реализация на примере золошлаковых отходов / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, А.С. Чипура // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 3(2). – С. 452-458.
7. *Васильев, А.В.* Методика экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 171-178. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-171-178.
8. *Васильев, А.В.* Результаты экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 179-184. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-179-184.

9. *Васильев, А.В.* Анализ зависимостей распределения радионуклидов от способа переработки нефтесодержащих отходов / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25. – № 6. – С. 181-191. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-6-181-191.
10. *Вержбовский, Г.Б.* Выбор минеральных наполнителей для строительных композитных материалов с полимерной матрицей / Г.Б. Вержбовский. – Ростов н/Д: Изд-во ФГАОУ ВО ЮФУ. – 2023. – № 9. – С. 1-9.
11. *Ершова, О.В.* Исследование свойств композиционного материала на основе техногенных минеральных и полимерных отходов / О. В. Ершова, Л. Г. Коляда, Ю. С. Крапивко // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : материалы 70-й межрегиональной научно-технической конференции. – Магнитогорск : Изд-во МГТУ им. Г. И. Носова, 2012. – Т. 1. – С. 195–199.
12. *Журавлева, Н.В.* Изучение распределения токсичных элементов в золошлаковых отходах предприятий топливно-энергетического комплекса Кемеровской области / Н.В. Журавлева, О.В. Иваныкина, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. –2013. –Т.21. – №5. –С.479-486.
13. *Колосова, А.С.* Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А.С. Колосова, М.К. Сокольская, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пискалов.– Пенза: Изд-во «Академия Естествознания». – 2017. – № 10(3). – С. 459-465.
14. *Коростин, А.С.* Анализ применения композитных материалов строительной промышленности / А.С. Коростин // Известия Тульского государственного технического университета. – 2024. – № 12. – С. 232-234. –DOI:10.24412/2071-6168-2024-12-232-233.
15. *Мешалкин, В.П.* Методологические основы и компьютерные инструменты системного анализа дефектов конструкционного стекла / В.П. Мешалкин, И.В. Ефимов, Д.Ю. Петров // Неорганическая химия - фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов: Матер. Науч. Конф. - 2016. – С. 137-142.
16. *Пентешин, М. Ю.* Состав, характеристики и перспективы применения полимер-неорганических композитов на основе стеклянного волокна в строительной отрасли/ М. Ю. Пентешин, А. В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2026. – Т. 28. – № 2 (130). – С. 233 – 246. – DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2-233-246.
17. *Талалаева, Г.В.* Современные композиционные материалы: перспективы и риски применения их в области комплексной безопасности и гражданской обороны / Г.В. Талалаева, С.Н. Пазникова. – М.: Изд-во ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2023. – Т. 20.– № 1 (75). – С. 107 – 114. – DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.1.75.
18. *Шаповалов, В. М.* Экологические проблемы в получении и применении полимерных композитов в Республике Беларусь / В. М. Шаповалов // Полимерные материалы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 1. – С. 71–81.
19. *Lithner, D.* Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition / D. Lithner, A. Larsson, G. Dave // Science of the Total Environment. – 2011. – Vol. 409, No. 18. – P. 3309-3324.
20. *Vasilyev A.V.* Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation "Le vie dei Mercanti" Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). Cep. «Fabbrica della Conoscenza series» Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.

ANALYSIS OF KINDS OF NEGATIVE SUBSTANCES AS PART OF POLYMER-INORGANIC COMPOSITES AND CALCULATIVE MODEL FOR THEIR ESTIMATION

© 2026 A.V. Vasilyev, M.Yu. Penteshin

Samara State Technical University, Samara, Russia

In this paper the kinds of negative substances in different types of polymer-inorganic composites have been considered. Main types of polymer matrices have been identified. For every type the list of the harmful components has been determined. Calculative model of estimation of negative substances in the polymer-inorganic composites has been suggested. The general sequence of data processing has been described. Main initial data and basic designations used in suggested calculative model have been considered. Application of results of analysis of kinds of negative substances and of developed calculative model will allow us to carry out the calculative estimation of negative substances in polymer-inorganic composites.

Key words: polymer-inorganic composites, negative substances, characteristics, calculative model, estimation.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-238-245
EDN: GXKZXN

REFERENCES

1. *Bataev, A.A.* Kompozicionnye materialy: stroenie, poluchenie, primenenie: Uchebnik / A.A. Bataev, V.A. Bataev. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2002. – 384 s.
2. *Butusov, O.B.* Komp'yuternyj analiz teksturno fraktal'nyh harakteristik mikrofotografij alyumosilikatnoj steklokeramiki / O.B. Butusov, V.P. Meshalkin // Neorganicheskaya himiya – fundamental'naya osnova v materialovedenii keramicheskih, stekloobraznyh i kompozicionnyh materialov: Mater. Nauch. Konf. – 2016. – S. 30-32.

3. Butusov, O.B. Teksturno-fraktal'nyj analiz alyumosilikatnoj steklokeramiki / O.B. Butusov, V.P. Meshalkin, L.A. Orlova, N.E. Shchegoleva, A.N. Kabanov//Teoreticheskie osnovy himicheskoj tekhnologii. – 2016. – T. 50. – № 2. – S. 194-199.
4. *Vasil'ev, A.V.* Osobennosti issledovaniya zvukoizoliruyushchih i zvukopogloshchayushchih harakteristik polimersoderzhashchih kompozitnyh materialov / A.V. Vasil'ev // Matematicheskie metody v tekhnologiyah i tekhnike. – 2025. – № 10. – S. 53-56.
5. *Vasil'ev, A.V.* Metody i podhody k issledovaniyu ekologicheskih harakteristik polimersoderzhashchih kompozitnyh materialov / A.V. Vasil'ev // Materialy Vserossijskoj nauchno-obrazovatel'noj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennye tekhnologii v oblasti zashchity okruzhayushchej sredy i tekhnosfernoj bezopasnosti-2025», – Kazan': Izd-vo KNITU, 2025, – S. 787-793.
6. *Vasil'ev, A.V.* Metodika opredeleniya sostava i svojstv polimersoderzhashchih kompozitnyh materialov stroitel'nogo naznacheniya na osnove aktivnosti radionuklidov i eyo realizaciya na primere zoloshlakovyh othodov / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, A.S. Chipura // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2025. – T. 27. – № 3(2). – S. 452-458.
7. *Vasil'ev, A.V.* Metodika eksperimental'nyh issledovanij neftesoderzhashchih othodov s povyshennoj radioaktivnost'yu kak ob»ekta ekologicheskogo riska / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2023. – T. 25. – № 4. – S. 171-178. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-171-178.
8. *Vasil'ev, A.V.* Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij neftesoderzhashchih othodov s povyshennoj radioaktivnost'yu kak ob»ekta ekologicheskogo riska / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2023. – T. 25. – № 4. – S. 179-184. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-179-184.
9. *Vasil'ev, A.V.* Analiz zavisimostej raspredeleniya radionuklidov ot sposoba pererabotki neftesoderzhashchih othodov / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2023. – T. 25. – № 6. – S. 181-191. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-6-181-191.
10. *Verzhbovskij, G.B.* Vybor mineral'nyh napolnitelej dlya stroitel'nyh kompozitnyh materialov s polimernoj matricej / G.B. Verzhbovskij. – Rostov n/D: Izd-vo FGAOU VO YuFU. – 2023. – № 9. – S. 1-9.
11. *Ershova, O. V.* Issledovanie svojstv kompozicionnogo materiala na osnove tekhnogennyh mineral'nyh i polimernyh othodov / O. V. Ershova, L. G. Kolyada, Yu. S. Krapivko // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya : materialy 70-j mezhregional'noj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. – Magnitogorsk : Izd-vo MGTU im. G. I. Nosova, 2012. – T. 1. – S. 195–199.
12. *Zhuravleva, N.V.* Izuchenie raspredeleniya toksichnyh elementov v zoloshlakovyh othodah predpriyatij toplivno-energeticheskogo kompleksa Kemerovskoj oblasti / N.V. Zhuravleva, O.V. Ivanykina, Z.R. Ismagilov // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. –2013. –T.21. – №5. –S.479-486.
13. *Kolosova, A.S.* Napolniteli dlya modifikacii sovremennyh polimernyh kompozicionnyh materialov / A.S. Kolosova, M.K. Sokol'skaya, I.A. Vitkalova, A.S. Torlova, E.S. Piskalov.– Penza: Izd-vo «Akademiya Estestvoznaniya». – 2017. – № 10(3). – S. 459-465.
14. *Korostin, A.S.* Analiz primeneniya kompozitnyh materialov stroitel›noj promyshlennosti / A.S. Korostin // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2024. – № 12. – S. 232-234. –DOI:10.24412/2071-6168-2024-12-232-233.
15. *Meshalkin, V.P.* Metodologicheskie osnovy i komp›yuternye instrumenty sistemnogo analiza defektov konstrukcionnogo stekla / V.P. Meshalkin, I.V. Efimov, D.Yu. Petrov // Neorganicheskaya himiya - fundamental›naya osnova v materialovedenii keramicheskih, stekloobraznyh i kompozicionnyh materialov: Mater. Nauch. Konf. - 2016. – S. 137-142.
16. *Penteshin, M. Yu.* Sostav, harakteristiki i perspektivy primeneniya polimer-neorganicheskih kompozitov na osnove steklyannogo volokna v stroitel›noj otrasli/ M. Yu. Penteshin, A. V. Vasil'ev // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2026. – T. 28. – № 2 (130). – S. 233 – 246. – DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2-233-246.
17. *Talalaeva, G.V.* Sovremennye kompozicionnye materialy: perspektivy i riski primeneniya ih v oblasti kompleksnoj bezopasnosti i grazhdanskoj oborony / G.V. Talalaeva, S.N. Paznikova. – M.: Izd-vo FGBU VNII GOChS (FC). – 2023. – T. 20.– № 1 (75). – S. 107 – 114. – DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.1.75.
18. *Shapovalov, V. M.* Ekologicheskie problemy v poluchenii i primenenii polimernyh kompozitov v Respublike Belarus' / V. M. Shapovalov // Polimernye materialy i tekhnologii. 2023. – T. 9. – № 1. – S. 71–81.
19. *Lithner, D.* Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition / D. Lithner, A. Larsson, G. Dave // Science of the Total Environment. – 2011. – Vol. 409, No. 18. – P. 3309-3324.
20. *Vasilyev A.V.* Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation «Le vie dei Mercanti» Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). Ser. «Fabbrica della Conoscenza series» Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.

Andrey Vasilyev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technosphere Safety and Quality Management, Director of Research and Development Center of Technosphere Safety and New Materials. E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru
Mihail Penteshin, Postgraduate Student of Department of Technosphere Safety and Quality Management. E-mail: penteshin01@mail.ru