

Исследование современных механизмов улучшения эксплуатационных характеристик полимерных композитов

Абдуллаев Азамат Элдиярович
ООО «Металлстройконструкция»
инженер

Ганыев Акылбек Маматурбраимович
Баткенский государственный университет
соискатель

Аннотация

Данная статья актуализирует актуальные вопросы выбора наполнителей для максимизации эффективности эксплуатационных характеристик эпоксидных композитов, а также трибологических свойств полимерных композитов. Авторами проведен сравнительный анализ, сделаны выводы, что работоспособность и срок эксплуатации антифрикционных полимерных композитных материалов зависит от содержания и природы модификаторов, наполнителей, отвердителей и температурно-временных режимов формирования материалов.

Ключевые слова: эксплуатационные характеристики, полимерные композиты, композитный материал, эпоксидные композиты, трибологические свойства, связующие.

Study of modern mechanisms for improving the performance characteristics of polymer composites

Abdullayev Azamat Eldiarovic
LLC "Metallstroykonstruktsiya"
engineer

Ghanyv Akylbek Mamaturbraimovich
Batken State University
aspirant

Abstract

This article actualizes the topical issues of selecting fillers to maximize the efficiency of the performance characteristics of epoxy composites, as well as the tribological properties of polymer composites. The authors carried out a comparative analysis, concluded that the operability and lifetime of antifriction polymer composite materials depends on the content and nature of the modifiers, fillers, hardeners and temperature-time regimes of material formation.

Keywords: performance characteristics, polymeric composites, composite material, epoxy composites, tribological properties, binders.

На сегодня увеличивается количество работ, посвященных исследованию физико-механических, адгезионных, трибологических и электрических свойств композитного материала (КМ) на основе эпоксидных смол, в частности композитов, содержащих дисперсные наполнители.

Наполнители всегда имели важное значение при формировании полимерных материалов [34]. Эпоксидные полимеры, такие как полиоксиэфир, диглицедилэфир, диановые, резорцин, алициклические смолы, сами по себе обладают свойствами, которые удовлетворяют различные требования. Поэтому их долгое время применяли в основном в ненаполненном виде. Однако повышение цен, связанное с постоянными и все чаще возникающими нехватками нефти и газа и снижением производства дорогих полимеров, исходным сырьем для которых они являются, обусловили необходимость широкого и эффективного использования наполнителей. Наполнение позволяет значительно уменьшить объем используемых полимеров и улучшить свойства материалов на их основе [22]. Улучшение свойств при наполнении сопровождается также повышением во многих случаях экономической эффективности - снижение стоимости материалов, ускорение процессов их формирования в результате повышения теплопроводности и уменьшения количества брака.

Большое количество наполнителей можно классифицировать по различным признакам: происхождению, строению и размеру частиц, активностью в межфазовом взаимодействии в полимерных композитах и каучука. Отдельными авторами [12; 20; 31 и др.] была предложена классификация наполнителей по происхождению.

Распределение долей на классы достаточно произвольный и обусловлен разной площадью поверхности частицы. Эта классификация учитывает две общие характеристики дисперсных наполнителей - размеры частиц и площадь их поверхности, которые могут быть реально измерены, и поэтому является основой для систематизации наполнителей по их назначению. Большинство традиционно используемых дисперсных наполнителей является минералами, которые добывают из скальных пород или каменных руд, после чего соответствующей обработкой их превращают в порошки. При этом измельчения происходит неравномерно, и доли наполнителей обычно имеют неправильную форму. Некоторые наполнители, такие как склосферы, осажденные силикаты, карбонаты кальция, имеют правильную форму. Природный каолин имеет форму гексагональных пластин, однако, в реальном наполнителе природного происхождения очень редко можно встретить части правильной формы.

Решающим фактором, определяющим эффективность антифрикционных эпоксикомпозитных покрытий, является их способность к самосмазыванию в трибоузлах, где нежелательно или невозможно внешнее подведение масел [2]. Одним из способов реализации процесса

самосмазвания является обеспечение фрикционного выборочного переноса, то есть генерация в зоне трения сплошной или фрагментарной прослойки, которая отделяет поверхности контакта и активно влияет на характер трения и износа. Поэтому исследования процессов фрикционного переноса и самоорганизации структуры поверхностного слоя трибоконтакта в узлах трения открывает новый этап в развитии триботехники.

В работах [15; 21; 39 и др.] показано, что с целью улучшения триботехнических свойств эпоксикомпозитов и повышения их динамических характеристик определен оптимальное содержание лускатного графита, углеродных волокон, базальтовых волокон; порошков чистой меди (Cu) марки ПМС-1, оксида двухвалентной меди CuO, оксида одновалентной меди (Cu₂O), мелкодисперсной бронзы марки ПР-БРА7Н6Ф и высокодисперсной бронзы марки БПК, карбонильного железа марки Р-20, оксида алюминия (Al₂O₃), оксида хрома (Cr₂O₃), фторопласта-4 ПН-20. Установлена возможность обеспечения высокой конструкционной прочности материала через достаточную жесткость частиц порошков и способность формировать на поверхности контакта медную пленку в процессе трибовзаимодействия. Определены стабильный режим выборочного переноса, который снижает интенсивность износа эпоксикомпозитного материала, что позволяет использовать его в условиях с ограниченной смазкой или при отсутствии смазочной среды.

Эффективное формирование пленки переноса наблюдали при трении графитопластов, ярко освещены в работах [6; 26; 32 и др.]. В результате высокой адгезионной способности графита к металлу в зоне трения происходит перенос графита на стальную поверхность, что существенно улучшает антифрикционные свойства пары трения. Расширение погрузочно-скоростного диапазона эксплуатации графитопластов можно достичь путем повышения адгезии графитовой пленки переноса к поверхности контртела. Снижение коэффициента трения КМ обусловлено уменьшением сопротивления сдвига в пленке переноса из-за возникновения в ней плоскостей легкого скольжения вследствие адсорбции газов, паров и низкомолекулярных оксидных соединений на поверхности частиц графита. Пленки переноса, экранируя взаимодействие эпоксидного полимера и металлического контртела, уменьшают адгезионное взаимодействие между сопряженными поверхностями. Это способствует снижению скорости накопления дефектов в рабочем слое материала и повышает его износостойкость.

Введение в состав эпоксидной матрицы антифрикционных дисперсных наполнителей приводит к повышению триботехнических характеристик композитов. В работах [25; 40 и др.] рассмотрены особенности трибовзаимодействия композита, наполненного полиэтиленом. Под действием температуры и больших удельных нагрузок пластифицированный полиэтилен проникает в область трения, адсорбируясь на поверхности контртела, заполняя неровности поверхности и образуя резервуары смазочного материала. В этом случае трения происходит между «третьим

телом» и поверхностным слоем композита. При повышении температуры течение полиэтилена увеличивается, что приводит к удалению его из области трения, снижение износостойкости материала.

Введение в эпоксидное связующее наполнителей неантифрикционного назначения, которые имеют более высокую теплопроводность и износостойкость, чем эпоксидный полимер, позволяет снизить интенсивность износа полимерных покрытий и повысить верхний температурный предел работоспособности пары трения. Авторы это объясняют армирующим действием наполнителей и повышением теплопроводности композита.

В работах [18; 28; 37 и др.] предложены кремнийорганические полимеры для разработки износостойкого покрытия, которое имеет высокую устойчивость к механическим циклическим и тепловым нагрузкам. В процессе трения кремнийорганические фрагменты, образованные в результате трибокрекинга, способны сращивать микрорадикалы, заполняя дефектные области системой химических связей, возникающих за счет механокрекинга и дальнейшего взаимного перемещения макрорадикалов под действием внешних деформирующих сил. Таким образом, возможно образование сшитой объемной структуры, значительно более устойчивой к внешним механическим и термическим воздействиям при фрикционном взаимодействии.

Особое влияние на триботехнические характеристики имеет чешуйчатый графит и дисульфид молибдена, которые выполняют экранирующую функцию и снижают коэффициент трения эпоксидной матрицы, уменьшая таким образом влияние адгезионной составляющей. Ультрадисперсный фторопласт выполняет дублирующую функцию вместе с чешуйчатым графитом и соответственно его присутствие в композите не является обязательным.

Также сегодня создано большое количество смазочных материалов и композиций с добавлением наночастиц, которые эффективно предотвращают износ поверхностей узлов и механизмов во время эксплуатации машин и агрегатов. Известно [4; 23 и др.], что в технологии производства смазочных материалов достаточно широко используют нанокomпоненты и добавки наночастиц, в частности, дисульфид молибдена, различные оксиды, фосфаты и др.

Однако фрикционные характеристики пар трения зависят от многих параметров: размера, формы и содержания наночастиц в суспензии. Размер большинства наночастиц, в качестве наполнителей в антифрикционных материалах, находится в пределах 2 ... 120 нм. В работах [13; 17 и др.] исследовано поведение антифрикционных материалов с содержанием наночастиц серебра с размером 5 и 20 нм и показано, что размер 20 нм является эффективнее, чем 5 нм, поскольку частицы меньшего размера реакционноспособнее, и способствуют взаимодействию микровыступов поверхностей трения. Для улучшения трибологических свойств пар трения

достаточным является содержание частиц 0,05 мас.ч., а оптимальным является 0,1 мас.ч.

Проводят исследования влияния наночастиц на коррозионные и трибокоррозийные свойства материалов. Такие добавки являются ингибиторами в покрытиях, самоорганизуются в нанопленки при трибокоррозии. Выявлено [29; 32 и др.], что введение наночастиц серебра даже в незначительном количестве (0,04 мас.ч.) приводит к уменьшению коэффициента трения и ширины дорожки трения примерно на 15%, а при 0,1 мас.ч. - коэффициент трения уменьшается почти в два раза и ширина дорожки на 35 ... 40%.

Кроме того, при содержании частиц в количестве 0,1 мас.ч. их коагуляция происходит только в участках максимального выхода ионов железа. Это приводит к равномерному осаждению наночастиц серебра на поверхности дорожки трения с образованием композитной пленки. В КМ с содержанием наночастиц в количестве 0,4 мас.ч. осаждение агломератов серебра на дорожке трения происходит интенсивно и хаотично и вызывает неравномерное механическое взаимодействие индентора и поверхности трения. На это указывает и увеличение осцилляций коэффициента трения.

На сегодня достаточно исследовано влияние наночастиц серебра в маслах на антифрикционные свойства пар трения, однако, влияние наночастиц на свойства КМ, например, эпоксидных, изучено недостаточно. Также существует спрос на материалы для ремонтных работ в различных отраслях промышленности. В связи с этим в работах [14; 16; 42 и др.] ставили задачу по созданию конкурентоспособных (таких, которые не уступают по свойствам импортным аналогам) КМ на основе эпоксидного олигомера. В частности, для получения антифрикционных композитов в качестве наполнителей использовали: нанотрубки, фуллерены, оксиды кремния, алюминия, меди, магния, полиамиды, перлит, серый шлам, графит, олово, бронзу, свинец.

Итак, из приведенного выше можно констатировать следующее. При формировании КМ и покрытий на их основе с повышенными показателями теплофизических, физико-механических и трибологических свойств необходимо анализировать физико-химические процессы при полимеризации полимеркомпозита после введения дисперсного наполнителя или модификатора, что является одной из актуальных проблем современного материаловедения. Эти исследования актуальны при разработке эпоксидных КМ, имеющих широкий спектр улучшенных свойств. Одним из путей решения этой задачи является создание новых эпоксидных композитов при целенаправленном регулировании их эксплуатационных характеристик научно-обоснованным введением дисперсных наполнителей различной активности в отношении эпоксидного связующего, что позволит улучшить как физико-механические, адгезионные, теплофизические, так и трибологические свойства композитов. При выборе типа наполнителя основным фактором является его способность смачиваться смолой, а также дисперсность частиц. Применением наполнителей, состоящих из двух или

более размеров зерен, можно добиться повышения характеристик композитов. При этом избыток наполнителя или его дисперсность могут быть причиной ухудшения свойств эпоксикомпозитов. Например, повышенное содержание грубодисперсного наполнителя может стать причиной недостаточного смачивания частиц или их неравномерного распределения в объеме материала, что может вызвать повышенные показатели коэффициента трения, интенсивности износа и рабочей температуры при фрикционном контакте. Итак, выбор количества наполнителя является существенным при формировании композитов с улучшенным комплексом свойств.

Также важным является введение связующих неорганических модификаторов (Ag_2O , Ag_2CO_3). При этом в модифицированной системе будет выделяться центральный атом Ag^+ и непосредственно связанные с ним молекулы (аминогруппы отвердителя) - так называемые лиганды или аденты. При этом образуются координационные соединения серебра $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, которые, в отличие от Ag_2O и Ag_2CO_3 , являются реакционными к функциональным группам связующих. Расположение лигандов в пространстве определяется типом гибридизации орбиталей комплексообразователя Ag^+ , которая имеет октаэдрическое строение, и обеспечивает максимальное расстояние и меньше взаимное отталкивание между лигандами. В результате повышаются показатели физико-механических, теплофизических, адгезионных и трибологических свойств модифицированных наполненных систем.

С помощью наполнителей, которые вводят в композицию, можно повышать теплопроводность [3], уменьшать усадку [10], увеличивать механическую прочность [19], изменить коэффициент трения [27] и электропроводность материала [8]. С этой целью в качестве наполнителей применяют порошкообразные, тонкоизмельченные и волокнистые материалы.

Непосредственное влияние наполнителя на коэффициент трения КМ проявляется в том случае, когда наполнитель находится на поверхности трения. Конечно, поверхностные слои образцов КМ имеют неравномерную поверхность в результате усадки материалов при полимеризации. Если содержание наполнителя, вводят для снижения термической или химической усадки КМ, достаточно высок, получают практически гладкую поверхность. Это снижает шероховатость при трении, которая возникает из-за неровности поверхности.

Для уменьшения трения КМ используют наполнители - масла, то есть наполнители с низким коэффициентом трения [30]. При этом их эффективность существенно возрастает при пленкообразовании. Наполнители могут уменьшать коэффициент трения, если они достаточно тонкодисперсные и способны эффективно повышать T_c матрицы вблизи поверхности трения. Следует отметить, что размягчения матрицы вследствие тепловыделения при трении часто является главной причиной высокого коэффициента трения.

В зависимости от природы наполнителя в КМ, которые участвуют в работе трибопары, происходит процесс формирования сервовитной пленки на поверхностях трения. Механизм ее формирования может быть различным.

Сервовитная пленка может образовываться в паре трения «сталь - сталь» в процессе работы с полимерными смазочными материалами, которые содержат мельчайшие частицы бронзы, меди, свинца, серебра и др. При использовании полимеров, наполненных указанными выше порошками, поверхности деталей покрываются тонкой пленкой, которая состоит из металла применяемых порошков. В процессе работы металлы частично растворяются в пограничном слое и благодаря восстановлению оксидных пленок прочно схватываются со сталью, образуя сервоподобную пленку. Такие пленки пластичных металлов пористые и содержат в порах смазочный материал [35]. Коэффициент трения при высоких нагрузках снижается, а стальные поверхности изнашиваются не существенно.

Сервоподобная пленка может образоваться вследствие трения полимерных композитов, наполненных оксидами металлов, к стали в среде глицерина. Глицерин является модельной жидкостью, которая легче других реализует режим выборочного переноса при трении пары «металл - композит». На начальном этапе происходит растворение поверхности трения стали под действием кислотной функции глицерина. Атомы металлов переходят к пограничному слою, благодаря чему поверхность контртела обогащается атомами металлов наполнителей. После выхода атомов к поверхности контртела деформация вследствие трения приводит диффузный приток новых атомов элементов к поверхности, которые затем перемещаются в смазочный материал. В нем образуется большое количество вакансий, часть из них расслаивается, образуя поры, заполняемые молекулами глицерина.

Глицерин, как известно, является восстановителем окиси металлов, поэтому поверхность трения сервовитной пленки свободна от оксидных пленок [9]. Она очень активная и способная к схватыванию стальной поверхностью за счет свободных связей. В результате стальная поверхность постепенно покрывается тонким слоем сервовитной пленки. Этот процесс продолжается до тех пор, пока на обеих поверхностях, стальной и полимерной, не образуется масляный слой толщиной 1 ... 2 мкм.

Также современными авторами [5; 11; 36 и др.] были исследованы антифрикционные композиты на основе эпоксифурановых олигомеров и наполнителей из меди в среде глицерина и углеводных масел (МС-20), а также принципиально новые материалы, в которых образование легкоподвижных металлических пленок в области трения возможно вследствие термического распада наполнителей, например, фермиата или силицилата меди. Повышение нагрузочной способности пары трения при наличии органических солей металлов объясняют тем, что последние, которые выделяются в результате разложения указанных соединений под действием сил трения и высоких локальных температур, находятся в неокисленном состоянии. Они способны взаимодействовать с металлической поверхностью контртела и образовывать на ней тонкие пластичные пленки.

В последнее время установлен оригинальный механизм образования сервоитной пленки в паре трения «сталь - эпоксикомпозит», наполненный волокнами и антифрикционными добавками. Поверхность стали и КМ обогащается ионами металлов, как следствие формируется металлополимерный слой в виде координационного соединения. Структуру фрикционного контакта, обеспечивает режим выборочного переноса в процессе трения металлополимерного композита, который изображен на рис. 1.

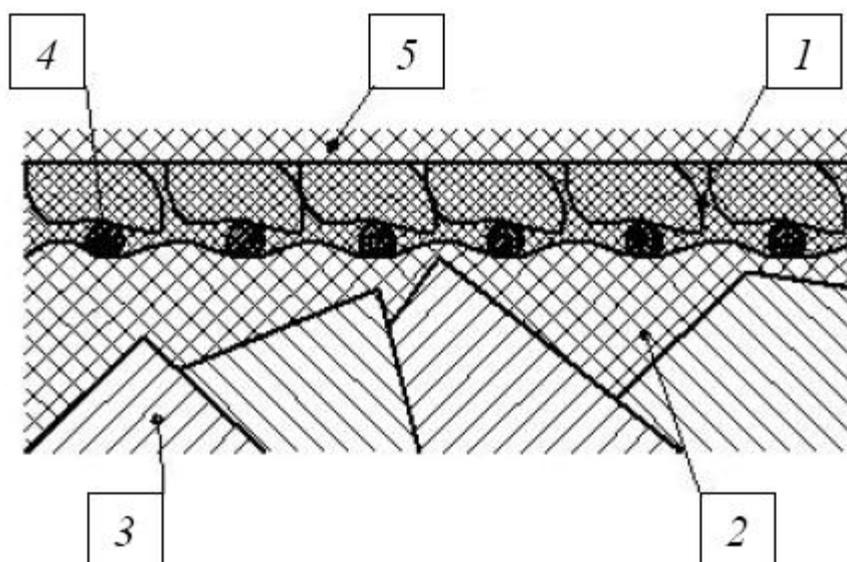


Рисунок 1. Структура, которая образуется в процессе трения композита по стали: 1 - комплексный слой; 2 - сервоитная пленка; 3 - стальной контртело; 4 - волокна; 5 - композит

Приведенная структура пограничного слоя состоит из связанной с поверхностью кристаллической решетки стали слоя сервоитной пленки металлов и металлополимерного слоя (1 ... 16 нм), ориентированного в направлении трения, закрепление которого на поверхности сервоитной пленки осуществляется в результате комплексообразования. Таким образом, высокие триботехнические свойства эпоксидных композитов, обусловленные реализацией избирательного переноса в процессе трения без смазочного материала вследствие образования координационных соединений с металлами. Наличие смазочного эффекта в таких композициях повышает триботехнические характеристики КМ во всем диапазоне нагрузки, особенно при наполнении или модифицировании эпоксидных олигомеров комплексообразующими присадками, такими как оксид и карбонат серебра.

Также для повышения сервоитной пленки при трении в смазочный материал вводят специальные добавки (например, смесь метилового эфира многоосновной кислоты и полиаминов), которые в процессе трения полимеризуются и создают на поверхностях трения дополнительный защитный слой [7]. Последний предотвращает их непосредственное контактирование. Сервоитная пленка является мощным катализатором

полимеризации [38]. Полимерная пленка образуется из свободных радикалов органических веществ, образующихся в процессе трибодеструкции КМ (рис. 2). Она предотвращает непосредственный контакт поверхностей трибопары и снижает пиковые давления.

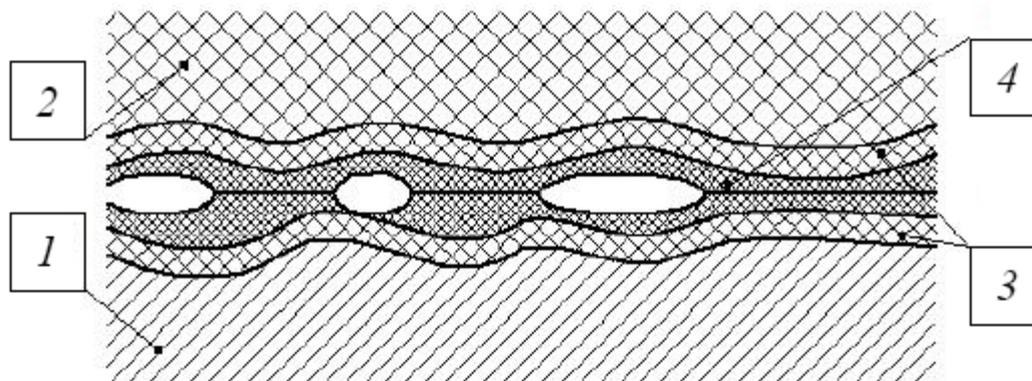


Рис. 2. Схема контакта деталей с образованием полимерной пленки из продуктов трибодеструкции: 1 - сталь; 2 - композит; 3 - серовитни пленки; 4 - полимерные пленки

В работах [1; 24; 42 и др.] указано, что хлориды, сульфиды и фосфаты также способны образовывать на поверхностях металлов в результате реакции с химически активными компонентами композитов смазочную пленку. Такие пленки характеризуются высокими показателями адгезионной прочности относительно металла и низкими показателями сопротивления сдвига. Так, трения сталей в серосодержащей среде приводят к образованию сульфидной пленки толщиной 40 мкм, которая снижает коэффициент трения, предотвращает захват и способствует адсорбции смазочных веществ на поверхностях трибопары.

Эпоксикомпозиты, которые характеризуются высокими показателями физико-механических, теплофизических и трибологических свойств, широко применяют при изготовлении антифрикционных материалов для узлов триботехнического назначения. При этом работоспособность и срок эксплуатации антифрикционных полимерных КМ зависит от содержания и природы модификаторов, наполнителей, отвердителей и температурно-временных режимов формирования материалов.

Библиографический список

1. Абалтусов В.Е., Немова Т.Н., Алексеенко Н.Н., Иванова Т.М. Устройство для газовой резки твердых материалов: патент на изобретение RUS 2042483
2. Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Тимашев С.А., Гурьев Е.С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. III. СП 12.13130.2009 //

- Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 1. С. 33-38.
3. Арутюнов Ю.А., Возовиков И.Н., Чащин Е.А., Шеманаева Л.И. Влияние топологии мебели на распространение в магнитопроводе магнитного поля // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 179.
 4. Балабин В.Н. Электромагнитный привод клапанов газораспределения транспортных дизелей нового поколения // Тяжелое машиностроение. 2007. № 7. С. 35-37.
 5. Березняк И.С. О подходе к формализации системы действий мобильного робототехнического комплекса // Системы управления и информационные технологии. 2012. Т. 50. № 4. С. 7-11.
 6. Бекренев Н.В., Зорин А.И. Лаборатория электрофизических технологий саратовского научно-исследовательского технологического института // Вопросы электротехнологии. 2015. № 3 (8). С. 126-135.
 7. Бирюк Н.Д., Нечаев Ю.Б., Финько В.Н. Свободный процесс и вынужденные колебания в обобщенном параметрическом контуре // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2005. Т. 8. № 2. С. 52.
 8. Бурков А.Ф. Анализ эксплуатации судовых электроприводов // В сборнике: Исследования Мирового океана материалы Международной научной конференции. Ответственный редактор Ким Г. Н.. Владивосток, 2008. С. 244-247.
 9. Галимова Р.К., Юсупова А.Р. Проблема планирования в технологическом эксперименте // В сборнике: Фундаментальная наука и технологии - перспективные разработки Материалы VII международной научно-практической конференции. н.-и. ц. «Академический». 2015. С. 154-156.
 10. Гималтдинова А.А., Курман К.В. Граничная задача для уравнения Лаврентьева-Бицадзе с двумя внутренними линиями изменения типа // Известия высших учебных заведений. Математика. 2016. № 3. С. 23-37.
 11. Данилов О.Е. Дидактическая модель формирования понятия поля физической величины с помощью компьютерной визуализации // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 6 (72). С. 19-28.
 12. Глушко С.П., Денисенко С.Г. Синтез критерия качества биметаллических подшипников скольжения // Конструкционная прочность, долговечность, упрочнение материалов и деталей машин Волгоград., 1990. С. 202-204.
 13. Горбачева Н.Б. К решению упруго-вязко-пластического состояния тонких пластин с отверстием при двусосном нагружении // Современные методы теории функций и смежные проблемы прикладной математики и механики Воронежская зимняя математическая школа - 1995: тезисы докладов школы. 1995. С. 54.
 14. Жуков А.А., Постнова А.Д., Немтырев О.В., Березин Д.Т. Коррозионно-стойкая сталь: патент на изобретение RUS 2193073 15.05.2000
 15. Ильин Р.А. Алгоритм оценки эффективности при создании и использовании теплоэнергетических установок различных видов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2010. № 2. С. 79-82.

16. Калиберда Е.А. Моделирование формообразования сложных поверхностей при многокоординатной обработке на станках с ЧПУ // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Омск, 2004. – 136 с.
17. Калянов А.Е., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Прочностной расчет станины и вала дробящего конуса конусной дробилки // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 8 (117). С. 34-40.
18. Каракаев А.Б., Луканин А.В. Основные методические вопросы анализа и синтеза контролепригодности систем сложной конструктивно-технической и организационной структуры на примере СЭС и ее элементов // Эксплуатация морского транспорта. 2013. № 2 (72). С. 63-67.
19. Коптев В.В., Кравченко В.А., Яровой В.Г. Повышение эксплуатационных качеств колёсных движителей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. № 5. С. 33.
20. Кришан А.Л., Гареев М.Ш., Сагадатов А.И. Сталетруبوبетонные колонны с предварительно обжатым ядром // Бетон и железобетон. 2004. № 6. С. 9-13.
21. Кухта М.С., Ооржак В.О.О. Традиционные технологии художественной обработки чонар-даша // Дизайн. Теория и практика. 2014. № 16. С. 76-84.
22. Мавлоназаров И., Микушев В.М., Чарная Е.В. Прямое измерение решеточного и примесного вкладов в ядерную спин-решеточную релаксацию в условии магнитного насыщения // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1992. Т. 56. № 1. С. 15-17.
23. Михальчепков А.М., Кузюр В.М., Локтев А.А. Восстановление лемехов горячим пластическим деформированием с совмещенной термообработкой // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2017. № 1 (16). С. 127-132.
24. Мишаков В.Ю., Макарова Н.А., Бузов Б.А., Заметта Б.В. Современные антимикробные материалы на текстильных носителях // Текстильная промышленность. 2002. № 2. С. 32.
25. Писарев О.А., Кручина-Богданов И.В., Глазова Н.В., Быченкова О.В. Кинетическое регулирование селективности сорбции в жидкостной хроматографии низкого давления // Доклады Академии наук. 1998. Т. 362. № 3. С. 362.
26. Рябухин А.К. Совместная работа свай и анкерных свай в составе конструкции противооползневых сооружений на автомобильных дорогах (Краснодарский край) // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Волгоград, 2013
27. Санников В.Г., Маслов С.Н., Корольков А.А. Оценка граничной частоты низкочастотного эквивалента телефонного канала связи при случайном наблюдении // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 8. С. 112-114.
28. Святский М.А., Святский В.М., Сентяков Б.А. Методика расчета электронагревательных элементов плавильного агрегата для плавления полимерного сырья // Интеллектуальные системы в производстве. 2011.

- № 2. С. 159-163.
29. Соловьева Е.А., Кунакулова Э.Ш. Исследование процесса перемешивания, с целью оптимизации технологических и кинематических параметров работы оборудования // Молодежь в науке: Новые аргументы Сборник научных работ II-го Международного молодежного конкурса. Отв. ред. А.В. Горбенко. 2015. С. 102-104.
30. Суркин В.И., Русанов М.А., Васильев И.М. Оптимальные параметры подшипников с плавающей втулкой уравнивающего механизма двигателя д-160 // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. 1999. Т. 30. С. 31.
31. Тузова С.Ю., Горбунова И.Ю., Антипов Е.М., Шерстнева Н.Е., Максимова Е.Ю. Ультразвуковой метод получения эпоксидно-фенольных композиций // Химическая технология. 2013. Т. 14. № 11. С. 667-671.
32. Хостикоев М.З. Основы создания адаптивных металлообрабатывающих инструментов // Механизация и автоматизация производства. 1978. № 11. С. 23-26.
33. Шавакулева О.П., Вечеркин М.В. Влияние крупности ферромагнитных минералов на магнитные свойства // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 1. С. 340-342.
34. Шляхов А.Т., Шляхова А.Г. Термический анализ веществ: история разработок авторских изобретений // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2015. Т. 14. С. 292-311.
35. Alomainy A., Hao Y., Owadally A., Parini C.G., Nechayev Y., Hall P.S., Constantinou C.C. Statistical analysis and performance evaluation for on-body radio propagation with microstrip patch antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2007. Т. 55. № 1. С. 245.
36. Bagutdinov R.A., Narimanov R.K. The calculating the fet based schottky hydrodynamic model // The First European Conference on Informational Technology and Computer Science 2015. С. 17-22.
37. Gataullin R.R., Ishberdina R.R., Shitikova O.V., Spirikhin L.V., Kazhanova T.V., Abdrakhmanov I.B. Synthesis of 1-iodo-1,2,3,4,4a,9a-hexahydrocarbazole, 2a,3,4,5,5a,10a-hexahydrooxazolocarbazolium iodide and 4-bromo-1,2,3,4,4a,11b-hexahydrodibenzoxazepine from n-benzoyl-2-(cyclohex-2-en-1-yl)aniline // Mendeleev Communications. 2004. Т. 14. № 5. С. 219-221.
38. Karepova E.D., Malyshev A.V., Shaidurov V.V., Shchepanovskaya G.I. The parallel realization of the finite element method for the navier-stokes equations for a viscous heat conducting gas // Notes on Numerical Fluid Mechanics. 2006. Т. 91. С. 41-54.
39. Krishan A.L., Krishan M.A. Strength of axially loaded concrete -filled steel tubular columns with circular cross-section // Advances in Environmental Biology. 2014. Т. 8. № 7. С. 1991-1994.
40. Tertyshnaya Yu.V., Ol'khov A.A., Shibryaeva L.S. The structure and properties of blends of poly(3-гидроxyбутират) and an ethylene-propylene copolymer // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2002. Т. 44. № 11. С. 2043-

2047.

41. Umarova N.N., Movchan N.I., Yusupov R.A., Sopin V.F. Calculation of the diffusion coefficient during the PB(II)/AG(I) ion exchange in a PBS thin-film sorbent // Журнал физической химии. 2000. Т. 74. № 9. С. 1707-1709.
42. Zhukov A.A., Postnova A.D., Nemtyrev O.V., Berezin D.T. Corrosion-resistant steel for permanent molds of pressure casting // Литейное производство. 2001. № 8. С. 14-15.