

СОЗДАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ

¹Ильмалиев Ж.Б. , ²Куртибай Қ.А. , ²Қаппасұлы Ә. , ³Жатқанбаев Е.Е. ,
³Жунусова Ә.Б. , ¹Ильмалиева Г.Б. , ³Жумабекова А.К. 

¹ТОО «URBAN GROUP», Алматы, Казахстан,

²ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии»,
Астана, Казахстан,

³Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,

 Корреспондент-автор: kappasuly@mail.ru

Статья посвящена разработке и производству арболита - легкого крупнопористого бетона на основе органического древесного наполнителя и минерального вяжущего. В статье рассмотрены этапы подготовки производства, технологический процесс производства и особенности применения арболита в строительстве. В статье акцентируется внимание на преимуществах арболита, таких как высокая тепло- и звукоизоляция, огнестойкость, биостойкость и прочность, что делает его перспективным шагом для малоэтажного строительства и использования в зонах с высокой пожарной опасностью.

Одним из важных аспектов исследования является использование золы теплоэлектростанций (ТЭЦ) в качестве минеральной добавки, что позволяет снизить себестоимость производства и решить проблему утилизации промышленных отходов. Экспериментальные данные о том, что арболитовые блоки, изготовленные с добавлением зол, обеспечивают получение физико-механических характеристик, соответствующих строи.

Исследования также затрагивают вопросы безопасности производства, включая переработку древесных отходов и использование нетоксичных компонентов. Технология производства арболита, описанная в статье, проста и эффективна, что делает ее перспективной для широких разработок в строительной отрасли Казахстана. Результаты работы показывают актуальность использования арболита в условиях изменчивого климата и высоких требований к теплоизоляции.

Ключевые слова: арболит, древесные отходы, минеральные вяжущие, теплоизоляционные материалы, зола теплоэлектростанций, экологически чистые строительные материалы, огнестойки.

АҒАШ ҚАЛДЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕ КОМПОЗИТТЕРДІ ЖАСАУ ЖӘНЕ ӨНДІРУ

¹Ильмалиев Ж.Б., ²Куртибай Қ.А., ²Қаппасұлы Ә. , ³Жатқанбаев Е.Е.,
³Жунусова Ә.Б., ¹Ильмалиева Г.Б., ³Жумабекова А.К.,

¹«URBAN GROUP» ЖШС, Астана, Қазақстан,

²«Экологиялық және өнеркәсіптік биотехнология ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС,
Астана, Қазақстан,

³Қ. Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: kappasuly@mail.ru

Мақала ағаш органикалық толтырғышы мен минералды байланыстырғыш негізінде жасалған жеңіл ірі кеуекті бетон - арболитті әзірлеу мен өндіруге арналған. Онда өндірісті дайындау кезеңдері, өндіріс технологиялық үдерісі және арболиттің құрылыста қолданылу ерекшеліктері қарастырылған. Мақалада арболиттің жылу және дыбыс оқшаулау, отқа төзімділік, биологиялық тұрақтылық және беріктік сияқты артықшылықтарына назар аударылады. Бұл оны аз қабатты құрылыс пен өрт қаупі жоғары аймақтарда қолдануға болашағы зор етеді.

Зерттеудің маңызды аспектілерінің бірі ретінде жылу электр станцияларының (ЖЭС) күлін минералды қоспа ретінде қолдану ұсынылған. Бұл өндіріс шығындарын азайтуға және өндірістік қалдықтарды кәдеге жарату мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Эксперименттік мәліметтер арболит блоктарының құрамына күл қосылған жағдайда, физикалық-механикалық қасиеттерінің құрылыс талаптарына сәйкес келетінін көрсетеді.

Зерттеулер өндірістің қауіпсіздігі, соның ішінде ағаш қалдықтарын қайта өңдеу және улы емес компоненттерді пайдалану мәселелерін де қамтиды. Мақалада сипатталған арболит өндірісі технологиясы қарапайым әрі тиімді, бұл оны Қазақстанның құрылыс саласында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері арболиттің құбылмалы климат жағдайында және жылу оқшаулауға жоғары талаптар қойылатын жерлерде қолданылуының өзектілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: арболит, ағаш қалдықтар, минералды байланыстырғыштар, жылу оқшаулау материалдары, ЖЭС күлі, экологиялық таза құрылыс материалдары, отқа төзімділік.

DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF COMPOSITES BASED ON WOOD WASTE

¹Ilmaliev Zh.B., ²Kurtybay K.A., ²Kappasuly A. , ³Zhatkanbayev Ye.E.,

³Zhunusova E.B., ¹Ilmalieva G.B., ³Zhumabekova A.K.

¹«URBAN GROUP» LLP, Almaty, Kazakhstan,

²LLP "Scientific and Production Center for Environmental and Industrial Biotechnology," Astana, Kazakhstan

³K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

e-mail: kappasuly@mail.ru

This article is dedicated to the development and production of arbolite—a lightweight, large-porous concrete based on an organic wood filler and mineral binder. It discusses the production preparation stages, technological process, and features of using arbolite in construction. The article emphasizes the advantages of arbolite, such as high thermal and sound insulation, fire resistance, biological stability, and strength, making it a promising material for low-rise construction and use in areas with high fire risk.

One of the key aspects of the study is the utilization of thermal power plant (TPP) ash as a mineral additive, which reduces production costs and addresses the problem of industrial waste disposal. Experimental data demonstrate that arbolite blocks produced with ash additives achieve physical and mechanical characteristics that meet construction standards.

The research also addresses production safety issues, including the recycling of wood waste and the use of non-toxic components. The arbolite production technology described in the article is simple and efficient, making it a promising option for widespread adoption in Kazakhstan's construction industry. The study results highlight the relevance of using arbolite in conditions of variable climates and high thermal insulation requirements.

Keywords: arbolite, wood waste, mineral binders, thermal insulation materials, thermal power plant ash, environmentally friendly construction materials, fire resistance.

Введение. К древесным композиционным материалам относят матрицы, наполненные древесиной в различных ее видах. Для производства подобных композиционных материалов - арболита, фибролита, стружкобетона, скопобетона, опило-бетона, цементно-стружечных плит, королита, ксилолита, применяются различные целлюлозосодержащие заполнители растительного происхождения и в качестве минерального связующего используются портландцемент или шлакощелочное вяжущие компоненты.

Древесно-цементные композиты обычно представляют собой нити, частицы или волокна древесины, смешанные вместе с портланд- или шлакоцементом в качестве минерального связующего и в зависимости от плотности можно разделить на две группы: легкие, имеющие плотность менее 1200 кг/м³, и тяжелые со средней плотностью более 1200 кг/м³ [1]. К легким можно отнести гипсостружечные и гипсоволокнистые плиты, фибролит, арболит, королит, гипсоопилочные блоки, ДВП, ДСП. Нами исследованы композиты, типа арболит, которые обладают преимуществами цемента, это огнестойкость, устойчивость к

бiodиструкции, высокая степень звукоизоляции, при легкости обработки, высокой плотности при относительно легком весе. Производство древесно-цементных композитов может быть перспективным способом утилизации древесных отходов. Арболит, может быть использован, как для внутренних, так и для наружных работ. Он легче бетона, имеет высокую прочность на растяжение, повышенную трещиностойкость, достаточную сопротивляемость ударным нагрузкам. Минеральные вяжущие придают прочность, биостойкость, огнестойкость, морозостойкость, что расширяет области применения как в сборных конструкциях, в элементах отделки и звукоизоляции, малоэтажном строительстве и в производственных зданиях, при отделке в качестве перегородок зданий различной этажности.

Изготавливаемый композиционный материал арболит, это крупнопористый легкий бетон на основе органического наполнителя и минерального вяжущего цемента. За счет органического, в данном случае древесного, наполнителя снижается плотность, коэффициент теплопроводности. Повышаются звукоизоляционные свойства и обрабатываемость материала. За счет минеральной, цементной части, изделиям придается прочность, огнестойкость, морозостойкость и биостойкость и арболиты намного лучше подходят для использования в местах с высокой степенью возгорания. В зависимости от потребности рынка арболит может формироваться разной плотности, по пределу прочности при сжатии 5, 10, 15 кг/см² для теплоизоляции и 25, 35, 50 кг/см² для конструкций. Так же композит производится в форме панелей, кирпичей и плиток. При их производстве не выделяется токсичных отходов, использование золы ТЭЦ в качестве минерального связующего и древесных отходов в качестве наполнителя, что можно считать утилизацией, позволяет создать экологичное производство строительных товаров широкой области применения. Выше сказанное в свете решения проблем с утилизацией отходов деревообрабатывающей промышленности и энергетики, а также экологичного производства строительных материалов является актуальной задачей [2-3].

Результатом исследований и разработки технологии является производство востребованной продукции - легких и прочных строительных блоков с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Снижение трудоемкости при монтаже стеновых блоков, панелей, перекрытий, а так же отделке поверхностей каркасов стен и фасадных работах, высокая огнестойкость материала дает возможность широкого применения в малоэтажном строительстве, а так же возведении зданий и сооружений с повышенными требованиями по теплорегуляции и звукоизоляции, а также использование при реставрации и модернизации жилого и производственного фондов в процессе производства вторичного сырья, при растущей потребности в качественном и экологичном строительном материале, производство арболита является актуальной задачей.

Качественный, недорогой и экологичный цементный композит высокой прочности, может быть использован в строительстве и отделочных работах в районах Казахстана с изменчивым климатом, различными погодными условиями и температурными режимами.

Сырьевые ресурсы, надлежащая опытно - экспериментальная база и отработанная технология позволяет получать композитные материалы стабильно высокого качества, востребованные на рынке строительных материалов РК.

Различные характеристики исходного сырья, условия производства и хранения имеют значительное влияние на получаемые материалы. Влияние добавок, как к примеру, внесение в цементное тесто двуокиси углерода, позволяют производить древесно-цементные композиты в гораздо более короткие сроки [4]. Добавки кремнеземной или изоцианатной смолы, извести гидротатной, жидкого стекла также продемонстрировали улучшение свойств продукта. Так же хлорид и нитрат кальция, нитрит-нитрат-хлорид кальция, сернокислый глинозем, хлорид кальция плюс оксид кальция ускоряют процесс твердения цемента. Использование древесных составляющих вносит в процесс получения композита определенные сложности, это связано со сложностью стандартизации природных материалов, древесины и лигноцеллюлозы по компонентам, и степени

несовместимости растительной дисперсии с цементом. Испытание материалов, определение методов производства и изменение технологических режимов, выполняется для каждого вида растительного сырья. В литературных источниках имеются данные показателей степени несовместимости, основанные на тепловых характеристиках процесса схватывания и физических свойствах композитов, степени гидратации портландцемента. Проблема химической совместимости дерева и цемента иногда приводит к задержке или полному отсутствию схватывания. Для увеличения адгезии может применяться разбавленный щелочной раствор, для ускорения отверждения цемента, вводят добавки хлоридов металлов олова, железа, алюминия, магния или кальция [5-8].

Одно из современных направлений, это разработка и производство композитных строительных материалов. Арболит, древесно –цементный композит во многом отвечает данным требованиям. Этот композит можно назвать целлюлозосодержащим материалом на основе цемента. Для получения качественного материала. Отвечающего заданным характеристикам, необходимо проводить исследования всех компонентов, условий и технических режимов. В производстве строительных композитов широко применяются растительные и древесные отходы. Производства, включающие применение древесины, сопровождаются образованием большого количества отходов, которые можно рентабельно использовать в производствах стройматериалов. Древесина легко обрабатывается, обладает достаточно высокой прочностью, имеет высокий коэффициент конструктивного качества, малой коэффициент теплопроводности. Из недостатков, высокая гигроскопичность, влагоемкость, горючесть и загниваемость. Так же свойствам, осложняющих производство можно отнести наличие различных структурных включений, сучков, трещин, разностойности, а также усушку и набухание. Обработка древесины позволяет значительно улучшить качество древесины, т.е. частично устранить присущие ей недостатки и полностью устранить отходы при ее переработке. Изменение свойств и характеристик древесины влияет на изменение других физико-механических свойств получаемых материалов, для стандартизации технологии важна характеристика влажности, отслеживаемая в продолжении всего технологического цикла, поэтому все результаты приводятся к условной 15 % влажности. Испытанию древесины в лабораториях всегда предшествует определение влажности образцов. При производстве арболитов так же важна удельная поверхность частиц древесного наполнителя и структура древесины. Для производства арболита применяют различные органические заполнители, целлюлозосодержащий растительный продукт, свойства которого, влияет на процессы структурообразования, структурно-механические и теплотехнические свойства материала [9].

Древесина имеет сложный состав и некоторые компоненты оказывают влияние на свойства цементов. Отрицательное влияние на цемент оказывают вещества: фенолы, полисахара, дубильные вещества, кислоты, хиноны. Углеводы и дубильные вещества, входящие в состав древесины, являются поверхностно-активными гидрофилизирующими веществами и препятствуют сцеплению частичек древесного наполнителя с цементом. Для повышения качества древесно-цементных композиционных материалов, содержащиеся в древесине водорастворимые вещества, «Цементные яды», обезвреживаются минерализацией, обработкой, пропиткой растворами хлорида кальция, сернокислого глинозема, растворимым стеклом. Строение, достаточно хорошо видимое невооруженным глазом или при слабом увеличении, называется макроструктурой, а видимое при сильном увеличении в микроскоп -микроструктурой. Макроструктура древесины. Исследованием макроструктуры определяется зрелая древесина, все древесные породы подразделяют на ядровые, имеющие ядро и заболонь, заболонные, имеющие только заболонную древесину, и спело древесные, имеющие заболонь и спелую древесину [10]. Для технологии предпочтительно использовать летнюю, а не весеннюю древесину. Относительно пород древесины, лучшая щепка получается из хвойных, сосны и ели, хорошие показатели и у лиственницы, осины, бука, березы, тополя. Размеры устанавливаются опытным путем,

максимально длиной до 40мм, и оптимальная длина 25 мм при ширине 10 мм. По содержанию коры до 10%, мелкая фракция, и крупные включения отсортировываются, не желательно примеси плесени и гнили. Из такого сырья получают самые прочные арболитовые блоки. Испытание древесины. Исследуются характеристики сырья, которые могут повлиять на технологический процесс. Влажность является важным показателем. По степени влажности сырье древесины классифицируют, как древесину свежесрубленную, влажность 35 % и выше; воздушно-сухую влажность 15-20 %; комнатно-сухую влажность 8-13 %, мокрую, с большой влажностью до 100 % и более [10].

Материалы и методы. Состояние равновесной влажности в древесине достигается при нахождении постоянных температура - влажностных условиях длительное время. Зависит от упругости паров воды окружающего воздуха и упругости паров воды на поверхности древесины. Строятся графики зависимости и определяются заданные характеристики. Влажность и температура воздуха определяется по психрометрическим таблицам с помощью лабораторного психрометра. Для достижения равновесной влажности, древесина должна находиться на воздухе с постоянными относительной влажностью и температурой, долгое время, при равенстве упругости паров окружающего воздуха, а упругости паров поверхности древесины, достигается влажность, называемая равновесной. Часто постоянная влажность и температура, при которой хранится древесина недостижима, при уличном складировании, для определения влажности древесины, находящейся в условиях с различной температурой и влажностью окружающего воздуха, используют графическую зависимость влажности от температуры, при построении откладывают по ординате влажность воздуха, по абсциссе - температуру воздуха, влажность древесины определяют по графикам, имеющим вид наклонных линий. Графики, построенные по данной зависимости, позволяют определить влажность с точностью до 0,75 %. Есть метод прямого определения, параметры рассчитываются по формуле (1).

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \times 100 \quad (1)$$

где,

m – масса бюксы, г;

m1 - масса влажного образца с бюксой, г;

m2 - масса сухого образца с бюксой, г;

Определение усушки древесины.

Расчет влажности при прямом измерении. При необходимости более точного определения параметров, влажность древесины определяется взвешиванием прямым путем. Древесина высушивается в сушильном шкафу,

разница между взвешиванием определяется экспериментально. Эксперимент проводят в бюксе, в предварительно взвешенную бюксу помещают пробу древесины, снова взвешивается, затем происходит сушка с пробы в сушильном шкафу. Пробу сушат не закрывая, эксперимент проводят до постоянной массы. Значит древесина высушилась. Взвешивается с точностью до 0,001 г. Температура в сушильном шкафу выдерживается 100°С. Бюкса с образцом взвешивается после остывания и на протяжении определенного времени после сушки, это время различается для различного вида древесного сырья. При высушивании образцов мягких пород образцы вместе с бюксой и крышкой взвешиваются первый раз через 6 часов и для образцов твердых пород - 10 часов. Далее, по методике проводят взвешивания через определенные промежутки до постоянной массы, допускается некоторое расхождение массы, до 0,002 г. Для точности эксперимента берут несколько образцов, минимум три.

$$y_0 = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \times 100 \quad (2)$$

где,

V_1 - объем образца до высушивания, см;

V_2 - объем образца после высушивания, см.

По методике определяется влажность – точка насыщения волокон, значение 25-35 %. Если влажность имеет большее значение, более 25-30 %, значит вода размещается в порах древесины, и при высушивании ниже точки насыщения волокон, менее 25 %, будет наблюдаться уменьшение размеров древесины, за счет испарения воды. испаряется из клеток.

Определение усушки производится на образцах размером 20х20х30 мм. Усушка характеризуется коэффициентом объемной усушки. Измерение проводятся в лабораторных условиях, по различным направлениям образца, так как древесина неоднородный материал, и по разным сечениям проходят разные изменения. В радиальном направлении 3 – 6 %, в тангентальном направлении 7-12 %, вдоль волокон 0,1-0,3 %. Эксперименты и измерения проводят по определенным методикам, с применением измерительных устройств, прочность должна быть не менее 0,01 мм. Рассчитывается среднее арифметическое полученных результатов [11].

Определение плотности древесины. Плотность древесины – физическое свойство, характеризующее отношение массы сухого материала к его объему. Плотность древесины определяется на трех образцах размерами 20х20х30 мм при их естественной влажности и затем по эмпирической формуле пересчитывается на условную стандартную влажность 12 %. Плотность учитывается при перевозке, обработке и применении дерева. Плотность древесины используется при проведении физико-математических расчетов во время сортировки сырья. Единицей измерения плотности древесины является г/см³ или кг/м³. Плотность древесины определяется стереометрическим способом параллельно с определением усушки. Для подсчета плотности используются величины масс образцов, древесина в естественном состоянии всегда содержит то или иное количество влаги и плотность древесины зависит от влажности древесины в момент ее определения

$$P_{m(12)} = P_{m(w)} \times [1 + 0.01(1 - K_0)(12 - W)] \quad (3)$$

где,

$P_{m(12)}$ – плотность древесины при 12 % влажности, г/см³;

$P_{m(w)}$ – плотность образцов при естественной влажности, г/см³;

W – влажность образцов, %;

K_0 – коэффициент объемной усушки, %.

Плотность абсолютно сухой древесины характеризует массу древесинного вещества, содержащегося в единице объема древесины при отсутствии в ней влаги.

Значение K_0 можно принять ориентировочно: Значения есть в таблицах и справочниках, для каждой породы, например 0,6 – для березы, бука, лиственницы; 0,5 – для всех остальных пород.

Важные показатели сырья:

1. плотность влажной и абсолютно сухой древесины;
2. плотность при нормализованной влажности;
3. пористость древесины и базисную плотность древесины.

По исследованию плотности можно предположить качество сырья, так как для примера, деформация и нагрузка имеет линейную зависимость, деформации увеличиваются быстро при незначительном увеличении нагрузки, в результате образец спрессовывается и уплотняется, при наличии в нем пороков, сучков и трещин, он разрушится, что говорит о низком качестве.

Базисная плотность древесины выражается отношением массы абсолютно сухого образца M_0 к его объему при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок W_{\max} . Для определения плотности образец взвешивается, рассчитывается его объем определяются его размеры. Точность измерений 0,01 мм.

Плотность, (г/см³) рассчитывается по формуле: отношения массы к объёму. В случае влажных образцов, это значение массы влажного образца, деленное на значение его объёма. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон. К технологическим и эксплуатационным свойствам древесины относятся свойства, имеющие значение при практическом использовании древесины, характеристики конструкционного материала и сырья. Испытания могут проводиться с приложением усилия могут быть приложены к дереву вдоль волокон и поперек них. В соответствии с этим различают сжатие вдоль и поперек волокон. Испытание образцов древесины на сжатие вдоль волокон производят на прессе в виде прямоугольной призмы размерами 20x20x30 мм. Образцы испытываются на сжатие при их естественной влажности и при влажности древесины 12 %. Расчеты и испытания проводят в соответствии с методиками, описанными в ГОСТ 11494.

Сжатие образца производится вдоль волокон с определенной скоростью, представленной в справочных материалах и методике, до полного прекращения сопротивления образца. Испытываются три образца. Предел прочности при сжатии каждого образца определяется по формуле:

$$R_w = \frac{P_{\max}}{ab} \quad (4)$$

где,

P_{\max} – максимальное разрушающее усилие, кг/с;

a, b – размеры поперечного сечения образца, см.

Для испытания на растяжение из дерева изготавливают образцы специальной формы. После испытания образцов на сжатие, определяется их влажность обычным методом и среднее значение предела прочности приводится к стандартной 12 % влажности по формуле. Для хвойных пород перерасчет на влажность не производят, используют поправочный коэффициент, равный 0,05 – для сосны, кедра, лиственницы, бука, ясеня, березы; 0,04 – для ели, дуба и др. лиственных пород.

Предел прочности для образцов измеряют в кгс/см² или МПа, где R_{12} – предел прочности при 12 % влажности, R_w – предел прочности, образцов с естественной влажностью [11-12].

Арболит - это композиционный материал, относящийся к группе крупнопористых легких бетонов, произведенным на основе органического наполнителя и минерального вяжущего. Для определения характеристик и качества композита имеется ГОСТ Р 54854-2011 и инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита СН 549-82. Бетоны легкие на органических заполнителях растительного происхождения, относится к классу легких бетонов на органических заполнителях растительного происхождения.

Требования к строительным материалам, условия производства и усовершенствование оборудования предполагает изменения в составе, физико-механических характеристиках и свойствах сырья и технологических добавок. Совершенствуется деревообрабатывающее оборудование, изменяются характеристики древесного сырья, как заполнителей растительного происхождения для древесно-цементного композита. Изменения характеристик наполнителей, предложения по минеральным добавкам, модификаторам и компонентам цементной смеси предполагает проведение исследований с целью выпуска качественного современного продукта с низкой

стоимостью, что является актуальным для строительной индустрии и важным для социальных программ. Кроме того, новые микро- и наномодификаторы, улучшают качество и долговечность композитов, и их применение повышает конкурентоспособность древесно-цементных материалов. На данный момент времени не существует полной теории и регламента, позволяющих прогнозировать прочность, жесткость и долговечность производимого строительного материала при эксплуатационных воздействиях без проведения исследований [13-14].

Технология производства арболита состоит в приготовлении арболитовой смеси, формирования изделий, затем происходит твердение заготовленных форм, сушка. Изделия покрываются защитным покрытием. Для приготовления смеси подготавливается органический наполнитель, древесные отходы дробятся, отсеиваются мелкие и крупные фракции. Органический наполнитель может быть составлен из древесных отходов и костры конопли и льна, стеблей хлопчатника. Органический наполнитель проходит циклы подготовки, для исключения или снижения действия «цементных ядов» сырье выдерживают не менее двух месяцев при положительной температуре или подвергают специальной обработке. В зависимости от сорта древесины, времени заготовки, длительность выдержки может быть разная. Древесину в форме щепы хранят в специальных рыхлых штабелях с вентиляционными оттоками.

Минеральные вяжущие составляются в соответствии с рецептурой, дозировкой составляющих. Основой минерального вяжущего материала являются портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий цемент. Различные марки цемента используются для арболитов, применяемых как теплоизоляционный материал, и как конструктивный. Для улучшения свойств арболитовой смеси используют химические добавки, хлорид и нитрат кальция, сернокислый глинозем, стекло натриевое жидкое. Добавки – ингибиторы коррозии стали, повышающие бактерицидные и инсектицидные свойства. Для получения качественного продукта необходимо весовое дозирование смеси, равномерное распределение ее по форме и регулирование заполнения форм по высоте. Приготовленная смесь считается качественной, если частицы заполнителя полностью покрыты цементным тестом и цементное "молоко" не стекает при формировании изделий. Были проведены исследования по влиянию добавок микрокремнезема прочность древесно-цементного материала, анизотропии механических свойств [15-16].

Результаты и обсуждение. Для создания равнопрочной и равноплотной структуры композита были проведены лабораторные исследования. Объект исследования: образцы древесно-цементного композита. Были исследованы смеси с добавлением золы ТЭЦ. Опыты проводили с изменением состава для каждой серии образцов. Допустимое нормативное отклонение по длине и ширине: 4 мм. По высоте допустимое отклонение не должно превышать 3 мм. Испытания одноосного сжатия выполнены на испытательной машине «Shimadzu GmbH» (Япония), представленной на рисунке 1. Готовность образцов блоков арболита на 28 суток. Образцы выполнены в форме куба. Образца раскалываются диагонально в давлении поперек укладки цементного теста. Данные по составу арболитной смеси представлены для изготовления образцов представлены ниже.

Образец № 1: органический наполнитель - СН 549-82, опилки древесные массой 365 кг; вяжущее – портландцемент М400 массой 317 кг; добавки – известь гидратная 16 кг, жидкое стекло 43 кг, сульфат алюминия 20 кг; армирование – полипропиленовое фиброволокно длиной 18 мм, массой 1 кг; влажность составляет 32-38%, водоцементное отношение примерно 0,8 (вода 250 дм³).

Образец № 2: органический наполнитель – СН 549-82, опилки древесные массой 365 кг; вяжущее – портландцемент М400 массой 317 кг; добавки – известь гидратная 16 кг, жидкое стекло 43 кг, сульфат алюминия 20 кг; армирование отсутствует; влажность составляет 32-38%, водоцементное отношение равно 1,0.

Образец № 3: органический наполнитель – опилки древесные массой 350 кг; вяжущее – портландцемент М400 массой 300 кг, зола ТЭЦ 12; добавки – известь гидратная 45 кг,

жидкое стекло 45 кг, сульфат алюминия 15 кг; армирование – полипропиленовое фиброволокно длиной 18 мм, массой 1 кг; влажность составляет 32-38%, водоцементное отношение 1,1 (вода 330 дм³).

Образец № 4: органический наполнитель – опилки древесные массой 350 кг; вяжущее – портландцемент М400 массой 300 кг, зола ТЭЦ 5; добавки – известь гидратная 45 кг, жидкое стекло 45 кг, хлорид кальция 15 кг; армирование отсутствует; влажность составляет 32-38%, водоцементное отношение 1,1 (вода 330 дм³).

Образец № 1. Форма заполнялась послойно, каждый слой уплотнен, визуально смесь полусухая. Образец вынимали из формы через 24 часа. Исследования проводили при температуре 20 0С. Длительность 28 дней (рисунок 1).



Рис. 1 - Образец №1 на основе портландцемента

Изменение массы наблюдали в течении 28 суток, данные предоставлены на графике зависимости массы от времени (рисунок 2). Масса образца изменилась с 0,91 кг до 0,598 кг. Среднее значение плотности материала образцов в возрасте 28 суток равно 595 кг/м³.

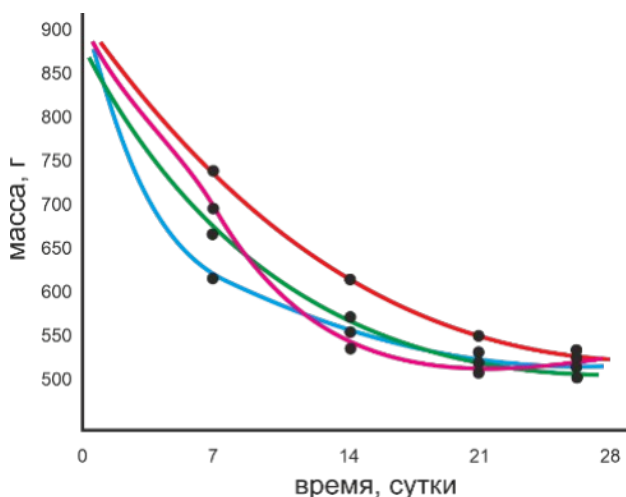


Рис. 2 - Зависимость изменения массы арболита от длительности эксперимента

Образец был подвергнут сжатию вдоль и поперек слоям укладки цементного теста. Образцы 1, 2, 3 разрушены, образец 4 показал прессование и остаточные деформации.

Результаты испытаний для трех образцов приведены на графике зависимости сила-деформация на рисунке 3. Зависимость прочности композитов от направления укладки

смеси при изготовлении важно для строительных работ. Результаты исследований представлены на рисунке 3.

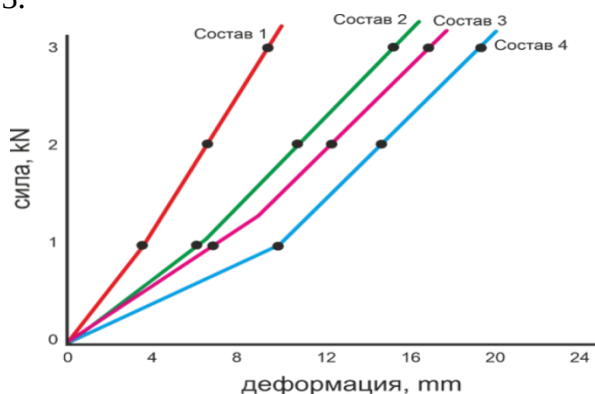


Рис. 3 - Зависимость сжатия образцов от укладки смеси

Образец №1. В качестве добавки был использован хлорид кальция, вместо сульфата алюминия. В результате значительно увеличились прочность и жесткость образцов.

Образец №2. Прочность образца ниже, чем №1. Жесткость уменьшилась.

Образец №3 При совместном использовании извести и жидкого стекла прочность образцов уменьшилась.

Образец №4 При совместном использовании цемента и золы ТЭЦ. Добавки золы ТЭЦ положительно влияют на свойства.

Основываясь на данные из литературных источников, были проведены исследования по использованию в качестве минеральной добавки порошка талькохлора, который является отходом. Результаты испытаний показали, что порошок талькохлорита могут заменить известь, и прочность образцов увеличивается, тогда как применение смеси извести и порошка талькохлорита снижает прочность и жесткость образцов. Увеличение водоцементного отношения отрицательно сказывается на прочностных характеристиках, хлорид кальция придает большую прочность арболиту, чем сульфат алюминия. По ГОСТ Р 54854-2011 по критерию средней плотности соответствует D600, это конструкционно теплоизоляционный материал. По результатам исследований, класс прочности на сжатие соответствует марке М10. Полученные данные соответствуют известным данным о закономерностях изменения механических свойств древесно-цементных материалов, к которым относится арболит [17-18].

Технология изготовления арболита

Ежегодно в Казахстане образуется более 15 млн. м³ древесных отходов. Современные экологические требования и возможность современных технологий ориентированы как на утилизацию этих отходов, так и на использование их в составе различных современных материалов. Применяемые композиционные материалы на основе отходов древесины имеют разнообразное назначение во многих отраслях экономики страны, в том числе для в древесно-цементных смесях для изготовления теплоизоляционных и конструкционных строительных материалов. При этом материал должен отвечать требованиям экологической чистоты в процессе изготовления, эксплуатации и утилизации. Создание новых эффективных, экологически чистых композиционных древесных материалов и разработка технологии их получения, расширяет область использования древесных отходов [19-20].

Разработанная технология изготовления композиционного древесно-цементного материала на основе древесных отходов содержит небольшое количество основных технологических операций. Это приготовление стружки, приготовление смеси для арболита и формирование продукта в формы с вибропрессованием. Предварительно древесное сырье выдерживается в помещении с плюсовой температурой более 2-х месяцев. Блок-схема технологического процесса представлена на рисунке 4.



Рис. 4 - Блок-схема технологического процесса арболитных блоков

Для производства арболитных блоков, учитывая результаты проведенных исследований по подбору компонентов смеси и проведенных испытаний образцов, была выбрана рецептура для прочных и недорогих блоков. В качестве минеральной добавки выбрали гидратную известь, хотя порошок талькохлора показал лучшие результаты по прочности, данных по применению пока недостаточно. Плотность готового влажного арболита должна быть в пределах 900-980 кг/м³; Плотность абсолютно сухого арболита в пределах 620-750 кг/м³. Последовательность введения компонентов в смеситель:

дробленку, водный раствор извести перемешивают, затем вводят раствор сернокислого алюминия, цемент и остаток воды, смесь перемешивают 1,5-2 часа. Смесь содержит: портландцемент М 400 – 25-30; известь гидратная – 30-435; сернокислый алюминий – 10-20; древесная стружка – до30; вода – 20-30.

Разработанная технология обладает простотой, экологической безопасностью и универсальностью в части возможности изготовления арболита на основе древесных отходов с широким спектром физико-механических свойств путем варьирования компонентным составом с целью удовлетворения требований условий эксплуатации готового изделия.

Выводы. На основании представленных результатов по исследованию рецептуры, технологии и свойств изделий из арболита, можно сделать вывод о перспективности производства подобных древесно-цементных композитов, лёгкими, прочными и с высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Проведены исследования компонентного состава смеси, влияния минеральных добавок на адгезионные свойства и прочность готовой продукции. Установлена эффективность применения золы ТЭЦ экибастузского угля для получения композитных строительных материалов. Исследовано влияние влажности, крупности и качественных характеристик древесного наполнителя на качество цементной смеси и прочностные характеристики изделий.

Анализируя полученные результаты, установлено, что по большинству показателей, в частности: звукоизоляционным свойствам, легкому весу, пористости, низкой теплопроводности, теплоемкости, огнестойчивости, неподверженности биоразложению, изделия из арболита соответствуют требованиям, предъявляемым подобным строительным материалам.

Определена возможность получения готовых строительных блоков по упрощенной технологии, с формированием изделий на вибростоле, что позволяет использовать различные формы и производить изделия различных размеров, использовать многокомпонентные, разные по характеристикам смеси, дает возможности применения армирующих волокон и конструкций, что увеличивает ассортимент продукции, без значительного дополнительного оборудования.

В опытно-экспериментальном металлургическом производстве АО «ИМиО» было запущено производство ФТП, на данное время производственная мощность предприятия составляет 15 000 м² теплоизолирующей продукции в год.

Урбанизация предполагает рост строительства жилых зданий и промышленных помещений, увеличивается спрос на недорогие, качественные и экологичные строительные материалы. Возможность увеличения качества, функциональности стройматериалов при сохранении невысокой стоимости за счет использования вторичного сырья соответствующего качества, предполагает актуальность дальнейшего проведения исследований технологий и организации производства композитов.

Финансирование. Данное исследование выполнено при поддержке ТОО «URBAN GROUP» в рамках проекта DP21681444 «Организация безотходного производства композиционных материалов из древесных отходов».

References

1. Ребиндер П. А., Шукин Е. Д. Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформации и разрушения //Успехи физических наук.-1972.-Т. 108(9). - С. 3-42.
DOI 10.3367/UFNr.0108.197209a.0003
2. Новицкий А. Г., Ефремов М. В. «Особенности получения непрерывного химически стойкого базальтового волокна» // Хімічна промисловість України. 2003. № 1. С. 24-27.
<https://novitsky1.narod.ru/basalt5.htm>
3. Толмачев С. Н., Беличенко Е. А., Холодный А. Г. Технологические, механические и структурные характеристики цементных систем с углеродными коллоидными частицами //Строительные материалы.-2010.-№. 9. - С. 96-100
<https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-mehanicheskie-i-strukturnye-harakteristiki-tsementnyh-sistem-s-uglerodnymi-kolloidnymi-chastitsami>
4. Wang L. et al. Value-added recycling of construction waste wood into noise and thermal insulating cement-bonded particleboards //Construction and Building materials. -2016.-Vol. 125. - P.316-325. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.053
5. Moslemi, A.A., Y.T. Lim. Compatibility of southern hardwoods with Portland cement // Forest Prod. J. - 1984. – Vol. 34(8).- P. 22-26.
6. American Society for Testing and Materials. Heat of hydration of hydraulic cement. ASTM // ASTM, West Conshohocken. 2017. – P. 186-191.
<https://ru.scribd.com/document/526400532/C186>
7. Sauvat, N., R. Sell, E. Mougel, A. Zoulalian. A study of ordinary Portland cement hydration with wood by isothermal calorimetry // Holzforschung. - 2005. - № 53(1). – P. 104-108. DOI 10.1515/HF.1999.016
8. Лесовик В. С., Гридчина А. А. Монолитные бетоны на основе расширяющих добавок и химических модификаторов //Строительные материалы.-2015.-№. 8. - С. 81-83.
9. Сеничев В.П., Воропай Л.М., Осипов Ю.Р., Шлыков С. А. Влияние фракционного состава древесного заполнителя на физико-механические показатели арболита.//Вестник Череповецкого государственного университета.-2015.- № 6.-С.47-50.
10. Новицкий А. Г., Ефремов М. В. «Аспекты применения базальтовой фибры для армирования бетонов» // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка.- 2010.-№ 36.- С.22-26. http://nbuv.gov.ua/UJRN/bmvs_2010_36_5

11. Попов К.Н. Оценка качества строительных материалов / К.Н.Попов, М.Б.Каддо, О.В. Кульков. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2004.- 287 с. ISBN5-06-004283-9
12. Микульский В.Г., Куприянов В.Н., Сахаров Г.П. Строительные материалы.- М.: Изд-во АСВ, 2000. – 536 с. ISBN 5930930414.
13. Aigbomian E.P., Fan M. Development of Wood-Crete from Hardwood and Softwood Sawdust // Open Construction and Building Technology Journal.-2013.-Vol.7.-P.108–117. DOI [10.2174/1874836801307010108](https://doi.org/10.2174/1874836801307010108)
14. Филичкина М.В., Абрамов В.В., Самошин Д.С., Фролов Г.А. Особенности опилок как наполнителя при производстве материалов из древесных отходов // Лесотехнический журнал.-2013.-№ 2 (10).- С. 26–30.
15. Лукутцова Н.П., Горностаева Е.Ю., Карпиков Е.Г. Древесно-цементные композиции с минеральными микро-наполнителями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.- 2011.-№ 3.-С. 21-23
16. Цапаев, В. А. О предельном уровне напряжения сжатия в кладке из опилкобетона // Жилищное строительство. - 2008. -№ 9. - С. 8-9.
17. Копарев В. С. Перспективы использования скопа в качестве сырья для производства древесно-цементной композиции //Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика.- 2014.-Т.2(3), ч.2.- С.92-95
18. Субботина Н.В., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Чернов Е.Б. Влияние состава и структуры жидкости затворения на свойства древесно-цементных композиций // Вестник науки Сибири.- 2012.-Т. 5 (6).- С. 261–268.
19. Чемоданов А.Н., Горинов Ю.А., Сафин Р.Г. Композитный теплоизоляционно-балластный материал на основе древесных отходов // Безопасность жизнедеятельности.- 2015. - № 3. - С.63-67.
20. Андреев Г., Корженецкий А., Молчанова Л. Строительство Балхашской ТЭС: современные технологии для устойчивого развития региона и снижения уровня риска для здоровья населения // Энергетика. - 2014. - № 1(48). – С. 26-31.

Information about authors

Ilmaliev Zh.B. - Senior Researcher, Senior Researcher, «URBAN GROUP» LLP , Almaty, Kazakhstan, e-mail: jans2009@mail.ru;

Kurtibay K.A. - Master's student, Research Associate of «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: kurtibayqb@gmail.com;

Kappasuly A. - Master of Engineering and Technology, Research Associate, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: kappasuly@mail.ru

Zhatkanbayev Ye.Ye. - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: erlan.ntp@mail.ru;

Ilmalieva G.B. - candidate of chemical sciences, researcher, «URBAN GROUP» LLP Almaty, Kazakhstan, e-mail: g.ilmaliyeva@gazindustry.gov.kz;

Zhunussova E.B. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Zhumabekova A.K. - Kazakh University of Technology and Business, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhumabekova_ak@mail.ru

Сведения об авторах

Ильмалиев Ж.Б. -старший научный сотрудник, ТОО «URBAN GROUP», Алматы, Казахстан, e-mail: jans2009@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0979-0665>

Куртибай Қ.А.- магистрант естественных наук, научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: kurtibayqb@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7822-0263>

Қаппасұлы Ә. - магистр техники и технологии, научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: kappasuly@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6205-7721>

Жатқанбаев Е.Е.-д.т.н., ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: erlan.ntp@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0656-239X>

Ильмалиева Г.Б. – к.х.н., научный сотрудник ТОО «URBAN GROUP», Алматы, Казахстан,
e-mail: g.ilmaliyeva@qazindustry.gov.kz; <https://orcid.org/0009-0006-3649-0509>

Жунусова Э.Б. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: tahmina.66@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9844-6291>

Жумабекова А.К. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, Казахстан, e-mail: zhumabekova_ak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6743-8953>.

IRSTI 61.01.11

**ANALYSIS OF METHODS TO IMPROVE THE STRENGTH AND HEAT RESISTANCE
OF COMPOSITE MATERIALS**

[✉]Corresponding author: tursynova_ak@enu.kz, seitenova_gzh@enu.kz

Modern composites occupy an important place in the production of high-strength materials due to their lightness, strength, heat resistance, ability to retain their performance properties and the possibility of modification for certain tasks. The article presents modern methods of improving mechanical properties and heat resistance of metal and polypropylene-based composites, their key characteristics, as well as modern processing technologies and innovative combinations with other materials. Particular attention is paid to the prospects for the development of composites with high temperature resistance through the introduction of reinforcing refractory particles, the use of carbon fibers and nanotubes, phosphorus-containing flame retardants, lignin, elastomers, thermoplastics, which opens up new opportunities for their exploitation.

Modification of polypropylene using various fillers, such as polyamides, chalk fillers, and carbon nanoparticles, significantly improves its performance characteristics, including strength, thermal stability, and electrical conductivity. This opens up new horizons for the use of polypropylene composites in conditions of high loads and high temperatures, which is important for the sustainable development of the electronics industry and other high-tech areas.

Metal and polypropylene-based composites have the potential for application in high temperatures and aggressive environments due to the possibility of modifying their structure and composition. The methods and technologies presented in the article allow expanding their functional capabilities, including integration with innovative components.

Keywords: composite materials, heat resistance, polypropylene, nanocomposites, carbon nanotubes, fibers, thermoplastic elastomers, adhesion.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ТЕРМОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л. Толымбекова, А. Колпек, Е. Копишев, А. Турсынова[✉], Г. Сейтенова[✉],

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

e-mail: tursynova_ak@enu.kz, seitenova_gzh@enu.kz

Современные композиты занимают важное место в производстве высокопрочных материалов благодаря их легкости, прочности, термостойкости, способности сохранять свои эксплуатационные свойства и возможности модификации под определенные задачи. В статье представлены современные методы улучшения механических свойств и термостойкости композитов на основе металла и полипропилена, их ключевые характеристики, а также современные технологии обработки и инновационные сочетания с другими материалами. Особое внимание уделяется перспективам разработки композитов с высокой термостойкостью за счет введения армирующих тугоплавких частиц, использования углеродных волокон и нанотрубок, фосфорсодержащих антипиренов, лигнина, эластомеров, термопластов, что открывает новые возможности для их эксплуатации.

Модификация полипропилена с использованием различных наполнителей, таких как эксплуатационные характеристики, включая прочность, термическую устойчивость и электрическую проводимость. Это открывает новые горизонты для применения полипропиленовых композитов в условиях повышенных нагрузок и высоких температур, что имеет важное значение для устойчивого развития электронной промышленности и других высокотехнологичных областей.

Композиты на основе металлов и полипропилена имеют потенциал для применения в условиях высоких температур и агрессивных сред благодаря возможности модификации их структуры и состава. Представленные в статье методы и технологии позволяют расширить

их функциональные возможности, в том числе за счет интеграции с инновационными компонентами.

Ключевые слова: композиционные материалы, термостойкость, полипропилен, наноккомпозиты, углеродные нанотрубки, волокна, термопластичные эластомеры, адгезия.

КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ БЕРІКТІГІ МЕН ЫСТЫҚҚА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

Л. Толымбекова, А. Көлпек, Е. Копишев, А. Турсынова[✉], Г. Сейтенова[✉]

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

e-mail: tursynova_ak@enu.kz, seitenova_gzh@enu.kz

Заманауи композиттер жоғары беріктігі бар материалдарды өндіруде маңызды орын алады, олардың жеңілдігі, беріктігі, ыстыққа төзімділігі, пайдалану қасиеттерін сақтау қабілеті және белгілі бір міндеттерге өзгерту мүмкіндігі. Мақалада металл және полипропилен негізіндегі Композиттердің механикалық қасиеттері мен ыстыққа төзімділігін жақсартудың заманауи әдістері, олардың негізгі сипаттамалары, сондай-ақ заманауи өңдеу технологиялары және басқа материалдармен инновациялық комбинациялар ұсынылған. Арматуралық отқа төзімді бөлшектерді енгізу, көміртекті талшықтар мен нанотүтіктерді, құрамында фосфор бар отқа төзімді заттар, лигнин, эластомерлер, термопластиктерді қолдану арқылы жоғары температураға төзімді композиттерді әзірлеу перспективаларына ерекше назар аударылады, бұл оларды пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Полипропиленді полиамидтер, бор толтырғыштары және көміртекті нанобөлшектер сияқты әртүрлі толтырғыштарды қолдану арқылы өзгерту оның беріктігін, термиялық тұрақтылығын және электр өткізгіштігін қоса алғанда, оның өнімділігін айтарлықтай жақсартады. Бұл электронды өнеркәсіптің және басқа да жоғары технологиялық салалардың тұрақты дамуы үшін маңызды болып табылатын жоғары жүктемелер мен жоғары температура жағдайында полипропилен композиттерін қолданудың жаңа көкжиектерін ашады.

Металдар мен полипропилен негізіндегі Композиттердің құрылымы мен құрамын өзгерту мүмкіндігіне байланысты жоғары температура мен агрессивті ортада қолдану мүмкіндігі бар. Мақалада ұсынылған әдістер мен технологиялар олардың функционалдығын, соның ішінде инновациялық компоненттермен интеграциялау арқылы кеңейтуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: композициялық материалдар, ыстыққа төзімділік, полипропилен, наноккомпозиттер, көміртекті нанотүтікшелер, талшықтар, термопластикалық эластомерлер, адгезия.

Introduction. Modern industry is placing increasingly stringent demands on materials, especially in areas such as automotive, aerospace and construction. Traditional materials such as pure metal, plastic or carbon often cannot meet the requirements for a combination of lightness, strength and resistance to extreme temperatures. Composite materials bring out the best properties of different components with unique characteristics. Improving the mechanical properties and thermal resistance of composites such as polypropylene, metal and carbon fiber composites is an important factor in expanding their application and performance.

Composites are materials made up of two or more components depending on the natural conditions to achieve a unique advantage. The most widely used types of composites include polymer, metal and carbon composites. However, their performance properties are often limited by fragility, insufficient heat resistance, or poor adhesion between phases [1-2].

The main components of composites include matrix (base), responsible for bonding and dependence, and reinforcing material (filler), increasing strength and mechanical performance. At

the present stage of industrial development, composites are widely used in a wide variety of fields such as construction, metallurgy, transportation, medicine, electronics, etc. [3-6] The list of main types of composites is diverse and wide. These are reinforced polymers, composites for pipelines and fittings, metal matrix composites (MMC), heat resistant composites, carbon fiber and glass fiber composites, biocomposites, materials for surgical instruments, etc. [7-10].

Current composites have their own problems and limitations, which includes insufficient interfacial adhesion, brittleness under impact loading, limited thermal resistance, difficulty in processing and disposal, initial cost, lack of liquidity data, difficulty in developing hybrid materials and lack of uniform standard qualities [11-13].

Solving these problems requires a comprehensive solution, including the development of new technologies, optimizing production processes, improving environmental friendliness and reducing the cost of materials.

Despite this, composites remain in demand due to their excellent properties, such as high strength, lightness, corrosion resistance and the ability to create products with specified performance characteristics. Constant development of technologies, development of new types of composites and improvement of methods of their production allow to regulate the scope of their application, reduce costs and eliminate possible problems.

Materials and methods. *Metal-based composites.* Metal-based composites attract great interest. Their structure, which combines a metallic matrix with inclusions of non-metallic nature, allows them to overcome the boundaries of high strength, lightness, corrosion resistance and other unique properties unattainable for traditional materials. Such properties make them in demand in various industries including aerospace, automotive, energy and construction sectors [14-16]. The most common matrices are aluminum, magnesium, titanium, and iron. Reinforcing materials can be ceramic particles, fibers, carbon nanostructures and oxide compounds.

One of the main advantages of metal composites is the ability to fine-tune their properties by changing their composition and structure. This is a way to optimize synthesis processes such as powder metallurgy, mechanical alloying, reinforcement casting and additive technologies. For example, the addition of carbon nanotubes to an aluminum matrix can increase the density of a strong material without significantly increasing its mass [17-19].

Special attention is paid to the study of mechanical, thermal and electrical properties of metal composites, as well as their behavior under extreme operating conditions. Studies of thermal resistance and durability open new horizons for the application of materials in aggressive environments or at high temperatures [20-21].

One of the promising structural materials with improved characteristics are materials obtained by means of various types of reinforcement, such as metal matrix CMs (composite materials) consisting of a metal or alloy as a continuous matrix and a reinforcing component in the form of particles, as well as short or continuous fibers [22-26]. In metal matrix CM, the main metal matrices are aluminum, titanium, copper, and magnesium alloys. According to literature data, in CMs with aluminum matrix reinforced with carbon fiber, wetting of fibers is carried out to a sufficient extent, which can improve mechanical properties [27-30].

Metal composites based on titanium matrix have high specific strength and elastic modulus, high temperature resistance and low density, which makes them attractive for aerospace, automotive and military applications, but the use of titanium alloys as structural materials under conditions of high friction and wear is limited due to their low tribological properties [31-32]. Nevertheless, the addition of refractory particles to titanium and its alloys is an effective way to improve mechanical and wear properties.

The paper [33] presents studies on fabrication and evaluation of the effect of the content of various reinforcing elements on the properties of metal composite materials (MCMs) based on titanium alloys. Introduction of refractory particles TiB_2 , B_4C , SiC and TiC into titanium and its alloys is an effective way to increase mechanical, wear-resistant and corrosion-resistant properties with simultaneous reduction of material density, and also contributes to the expansion of the area of application of MCMs. The size and distribution of reinforcing particles in the matrix and their

chemical activity have a great influence on the microstructure and mechanical properties. Carrying out heat treatment process helps to increase the mechanical properties. Metal composites reinforced with solid particles have an advantage (compared to MCMs reinforced with continuous fibers) in the form of isotropic properties, are cheaper to produce and can be further processed.

In [34], the compound B_4C was used as a reinforcing element to improve the mechanical, corrosion, and tribological properties of the titanium alloy of the composition Ti-6Al-4V (hereinafter referred to as the alloy composition in % (by mass)), noting its thermodynamic stability and high mechanical properties. The alloy of composition Ti- 6Al-4V and ceramic powder B_4C with an average particle size of 30 microns were used for the production of MCM samples by powder metallurgy. MCM samples were made with the content of 5 and 10 % (by mass) of B_4C . As a result of the study of physical and mechanical properties of the samples, it was found that the density of MCM decreases with increasing content of reinforcing particles, but the difference between theoretical and experimental density increases with increasing B_4C content, which is explained by the increase in porosity with increasing content of B_4C particles (Fig. 1, a). The hardness and corrosion resistance increase with increasing amount of reinforcing B_4C particles (Fig. 1, b).

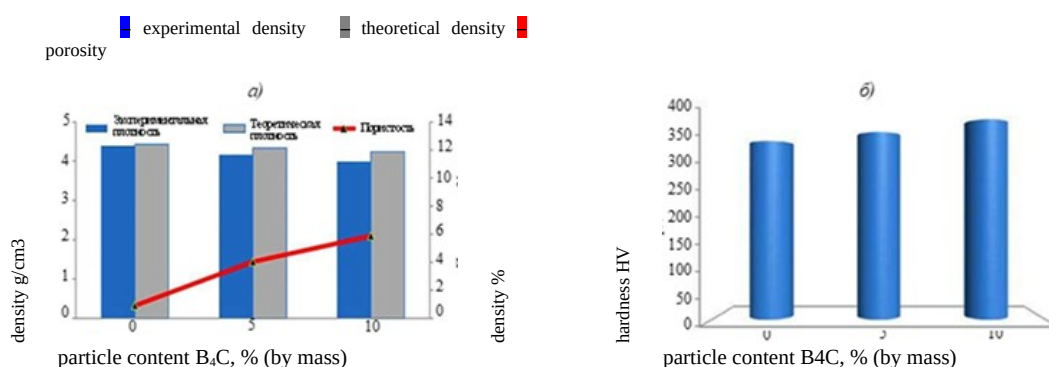


Fig. 1 - Effect of the content of ceramic B_4C particles on the properties of MCM composition (Ti-6Al-4V) + B_4C on density (a) and hardness (b) [34]

Similar studies [35-37] confirmed that the wear rate of the composite material decreases with increasing in situ formed TiB and TiC particles, and concluded that TiB and TiC particles improve the wear properties of the composite material.

The influence of sintering temperature and the content of B_4C particles on the properties of composite material obtained by powder metallurgy was investigated in [38]. The increase in hardness and compressive strength of the composite material increases with increasing sintering temperature and increasing the content of reinforcing component.

In [39] the influence of B_4C particles and laser energy density on microhardness of composite material of Ti-6Al-4V composition obtained by selective laser sintering was investigated. When obtaining the composite material, B_4C particles react with titanium and in the in situ process TiC and TiB particles are formed in different proportions, the microhardness increases by 30-80 % depending on the laser energy density.

Currently, high-modulus carbon fibers are the most suitable material for creating composites with titanium matrix. Selective reinforcement of titanium plates of small thickness allows to provide control of high reactivity of "titanium/carbon" compound and to create suitable processing methods [40-42].

Laminated structures consisting of alternating layers of metal sheets and fiber-reinforced polymer-matrix composites are also used in aircraft parts structures. Compared to conventional monolithic metals, they have high specific strength and stiffness, excellent fatigue resistance characteristics, and increased fire resistance [43].

To improve the mechanical properties of CMs with layered structure, including metal plastic layer and intermetallic layer (Ti-Al₃Ti), various continuous fibers - carbon (C), silicon carbide (SiC) and aluminum oxide (Al₂O₃) - are introduced. Using various processing techniques, a number of intermetallic metallic layered CMs of systems such as Ti-Al, Ni-Al, Nb-Al and Ti-Cu are obtained. It is believed that the application of such titanium-aluminum layered CMs with high physical and mechanical properties is potentially possible in aerospace and armor protection applications. Using a novel rapid prototyping technique, ultrasonic consolidation was applied to fabricate three-dimensional structures via additive manufacturing from metal foil. During the ultrasonic consolidation process, ultrasonic frequency vibration combined with nominal force was used to generate static and oscillating shear forces between the metal foil layers that formed a solid-state bond. Moreover, ultrasonic consolidation was used to join dissimilar materials such as Ti-Al, Cu-Al, and Fe-Al at low temperatures (~480 °C). Thus, ultrasonic consolidation can be used as an auxiliary method to disperse fiber bundles into individual fibers in the alloy matrix prior to CM formation [44-46].

In [47], studies were conducted to determine the mechanical characteristics of CM produced by die casting method using AA6061 matrix aluminum alloy, which is reinforced with carbon fiber. The studies showed that increasing the content of reinforcing component from 0 to 10% (vol.) allows increasing the torque from 24.5 to 52 N-m, tensile strength from 283 to 315.5 MPa, as well as increasing the impact strength at 10% (vol.) of carbon fiber up to 12.2 J [47].

The microstructure of the CM of AA6061 grade aluminum alloy and carbon fiber shows that the carbon fibers are evenly distributed in the matrix, and interfacial adhesion is present (Figure 2).

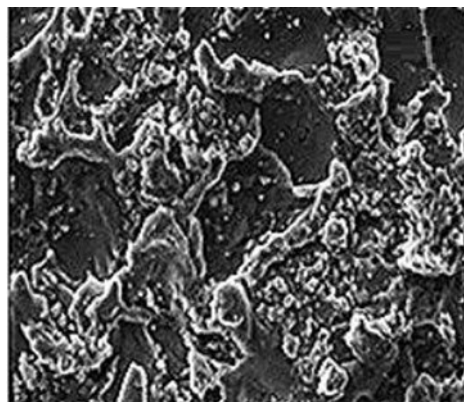


Fig. 2 - Microstructure of composite material made of aluminum alloy AA6061 and carbon fiber [47]

In similar works [48-50] the authors describe in detail the physical and mechanical characteristics of materials with different matrix alloys (content of reinforcing carbon fibers - from 5 to 50 % (vol.)) and the mechanisms of failure of composites after the tests. In [48-49], studies of thermophysical and mechanical properties of CMs obtained by powder metallurgy on the basis of aluminum matrix reinforced with carbon fibers were carried out. It was found that when the volume content of carbon fiber increases, hardness, electrical conductivity and strength decrease: from 71 to 56 HB, from 30.9 to 14.5 cm and from 529 to 214 MPa, respectively, thermal conductivity increases to 155 W/(m-K), and the temperature coefficient of linear expansion (TCLE) decreases - from 36-10⁻⁶ to 8-10⁻⁶ K⁻¹ [48].

Among the basic properties of composite materials, heat resistance and heat resistance, the ability of a material to retain its original strength at high temperature, are of particular importance for the most common structures [51-53]. For other types of heat-resistant materials, such as those based on minerals (ceramics, refractories with various mineral fillers and binders), the concept of refractoriness is applicable, i.e. the ability of the material to resist destruction without deforming during operation at temperatures not lower than 1580 °C [54]. Composite materials with ceramic

matrix have high heat resistance, relatively high compressive strength, but tensile strength and impact strength have low values. The scientific direction of solving the problem of increasing the strength of composite material is the necessity of transferring a significant part of the load to reinforcing elements [55-57].

It is of scientific and practical interest to solve the problem of increasing the strength and heat resistance of composite material of the metal-ceramic system by changing the macrostructure of the introduced reinforcing material and matrix composition.

The most common methods of molding composite materials are pressing and sintering, which in some cases is not economical, for example, molds are difficult to manufacture, this disadvantage significantly increases the cost of products. The use of slurry with hydrophilic tooling to remove moisture and give primary technological strength to the composite material, provides cost reduction and increased cost-effectiveness [58-60].

In work [61], the analysis of properties of composite materials is given, increase of heat resistance and heat resistance of composite material on the basis of stabilized silica, wastes of metallurgical and glass industries, was achieved by improving the structure of composite material, introduction of reinforcing elements. For the production of composite material was used an economical method of molding into hydrophilic tooling.

Slip is a suspension in the form of liquid dispersion medium and solid fine-dispersed phase, for example, in the form of SiO_2 and Fe, crushed to the size of 0.5...10 microns, as well as additives: stabilizing volumetric transformations of SiO_2 during heating or cooling (Na_2O); increasing sedimentation stability of slip (refractory clay). This material is fluid in the stage of preparation and pouring, plasticity while in the mold and strength after partial dehydration of the slip, for example, in a gypsum mold. The combination of stabilized silica-based slurry, reinforcing components, glass production waste and hydrophilic tooling reduces energy consumption by 18% and increases the cost-effectiveness of manufacturing products of the metal-ceramic system in comparison with traditional methods of composite materials forming [61].

Despite the obvious advantages, the development of metal-based composites involves obtaining a criterion for uniform distribution of reinforcing particles and the need to accurately determine the interactions between components. However, modern advances in computer modeling, nanotechnology, and experimental techniques offer new opportunities to overcome these difficulties. Thus metal-based composites continue to be the basis of research that will shape the development of high-tech materials in the future. Their unique properties and potential applications in a wide range of regions make them the object of close attention of the scientific community and industry.

Polypropylene-based composites. Today, polymer composites are of particular interest and are being actively introduced into various fields due to their unique properties, including high elasticity, strength, stiffness and high specific strength.

Polypropylene is one of the most widely used polymers in the world. Since its commercial introduction in the 1950s, polypropylene has established a reputation for its unique properties and versatility in application [62].

Polypropylene can be easily molded and extruded to produce complex shapes. It is able to retain its size and shape when exposed to high temperatures and loads. It combines low density and high strength, making it ideal for use in the manufacture of lightweight but strong products [63].

Modern technologies make it possible to combine polypropylene with natural and synthetic fibers. This opens up new possibilities for creating materials with improved thermal and mechanical properties. The addition of synthetic fibers and fillers (such as carbon or glass fibers) can improve the strength and stiffness of polypropylene products, which expands their application [64].

The improvement of these materials through the addition of carbon nanotubes (CNTs) and fibers is an active area of research aimed at improving their performance [65].

Modification of polypropylene with carbon nanotubes and fibers allows to significantly improve the mechanical properties of composites, in particular, their impact resistance and

stiffness. It was found that the addition of carbon nanotubes can increase the impact resistance of the composite up to seven times, which makes such materials competitive with more expensive analogs. Mechanical stiffness and resistance to deformation under load are also significantly increased by the inclusion of continuous carbon fibers, which expands their application areas, including high and low temperature conditions [66].

The need to use carbon nanotubes arises due to their unique properties, including high thermal conductivity, strength and the ability to form conductive networks within the polypropylene structure. Studies show that the introduction of CNTs into PP composites leads to a significant improvement in mechanical properties due to a more homogeneous distribution of reinforcing additives and their strong interaction with the polymer matrix [67].

Many CNT modification techniques, including covalent and non-covalent modification, are used to achieve the best results in the creation of composites. These methods help to improve the dispersion of fillers in the polymer matrix, allowing for more robust interfacial interactions. CNT modification allows the attachment of functional groups such as epoxy, hydroxyl and carboxyl groups, which also helps to improve the bond strength between the matrix and filler [68].

In addition, oxidation of carbon nanotubes carried out using various oxidizing agents such as H_2SO_4 , KMnO_4 , H_2O_2 and HNO_3 allows the introduction of functional groups on their surface. This leads to the formation of defective sites, which can adversely affect the engineering properties, but this approach significantly improves the adhesion of CNTs in the polymer matrix, which is the cornerstone of an efficient composite structure [69].

The introduction of nanotubes into the structure of polypropylene composites provides improvements in properties such as strength, heat resistance and mechanical stiffness, making them competitive with more expensive materials [70].

Studies show that PP and nanotube-based composites exhibit significant improvements in mechanical properties such as impact resistance and stiffness. Carbon nanotubes contribute to increased strength and resistance to deformation under loading due to their high strength and ability to form conductive networks within the polymer matrix. In particular, the use of metallocene polypropylene in combination with carbon fillers improves the strength and ductility of composites [71].

Melt extrusion is the preferred method of producing PP-CNT composites because of its ability to create homogeneous materials through mixing of components at high temperatures. However, lack of control during the extrusion process can lead to thermal fracture and residual stresses that negatively affect the properties of the composites. To increase the dispersion of CNTs in the polymer matrix, various modifications and blending methods are actively investigated, indicating the importance of controlling the extrusion process to achieve optimal performance [72].

Modifications of carbon nanotubes are necessary to ensure high-quality interfacial adhesion between PP and CNTs. The grafting of maleic anhydride (MA) onto polymer chains significantly improves the compatibility of CNTs with the polymer matrix and also helps to reduce the surface tension. This allows for better dispersion of CNTs and formation of efficient percolation networks. Studies show that the use of modified compatibilizers such as styrene-ethylene/butylene-styrene copolymer leads to a significant improvement in the mechanical and thermal properties of composites [73].

The high flammability of polypropylene limits its use in applications requiring fire resistance. To solve this problem, active research is directed to the use of phosphorus-containing flame retardants (phosphorus fire retardant additives), which show high efficiency in reducing the flammability of polymeric materials [74].

Phosphorus flame retardants have unique properties that provide low toxicity and the ability to form a protective layer on the surface of the material when exposed to high temperatures. This protective layer promotes thermal decomposition of the flame retardant, forming a carbon residue that serves as a barrier to flame propagation. These mechanisms of action make it possible to significantly increase the fire resistance of polypropylene composites [75].

Studies conducted by various research groups have confirmed that the addition of phosphorus flame retardants to PP significantly improves its mechanical and thermal properties. The addition of phosphorus flame retardants to PP increases the tensile strength and stiffness of composites at high temperatures, which improves their performance without degrading the basic properties [76].

Phosphorus-containing flame retardants are a promising alternative to halogen-containing flame retardants, which were previously widely used but criticized for their toxicity and negative environmental impact. In contrast, phosphorus-containing additives help to reduce flammability while remaining safer for humans and nature [77].

The retrofitting of polypropylene with phosphorus-containing flame retardants opens new horizons for the application of composites in products that require high fire resistance. For example, the study of new methods of modifying composites, such as blending with carbon nanotubes (CNTs), improves thermal stability and mechanical properties while maintaining environmental safety [78].

To achieve higher performance characteristics of polypropylene composites with phosphorus-containing flame retardants, it is necessary to continue the optimization of compositions and technologies of their processing. This includes the study of new polymer modifications and the use of alternative fillers, which can lead to the creation of stable and functional materials that meet modern requirements [79].

Polypropylene is one of the most popular thermoplastics with good mechanical and physical properties. However, various modification methods are being investigated to enhance its functionality and performance, including the use of biopolymers such as lignin and chitosan. These additives not only improve the mechanical properties of composites but also make them more environmentally friendly [80].

Modification of polypropylene with chitosan fibers can significantly improve its strength and impact resistance. Chitosan, being a biopolymer with good adhesion to the polymer matrix, contributes to the improvement of tensile and impact performance. Experiments have demonstrated that composites with modified fibers provide a significant improvement in mechanical properties compared to unmodified samples [81].

The use of esterified lignin as a modifier is important for achieving high adhesion between composite components. Lignin, being a secondary natural polymer, shows excellent binding properties, which improves the structure of the final material. Studies show that the presence of lignin helps to create strong interfacial interactions between chitosan and polypropylene, which enhances the strength and durability of the composite [82].

The process of mixing the components at high temperatures, such as 190°C, ensures uniform distribution of fillers in the polypropylene matrix. Homogeneity of distribution is critical to achieving optimum strength and strain resistance. Studies in this area show that lack of homogeneity can lead to poor mechanical performance and reduced material stability [83].

The resulting polypropylene-based composites with modifiers such as lignin and chitosan have a wide range of potential applications in industries such as packaging and construction. These fields require lightweight and strong materials that can withstand mechanical stresses. The improved performance of modified composites opens up new opportunities for their use in various sectors including automotive and consumer products [84].

Composites based on thermoplastic elastomers have attracted considerable attention due to their unique properties that provide high flexibility, strength and resistance to external influences. Of particular interest is the combination of styrene thermoplastic elastomers with polypropylene, which makes them promising for applications in the construction industry and other areas where high strength and durability of materials are required [85].

Thermoplastics are classes of polymers that combine the properties of thermoplastics and elastomers. They are recyclable, making them convenient for manufacturing processes, while providing the elasticity characteristic of rubber bands. Studies show that blends of styrene

thermoplastic elastomers and polyolefin elastomers can improve the performance of materials, which has initiated a number of scientific studies in this area [86].

One of the key tasks in improving composites based on thermoplastic elastomers is to increase their resistance to thermal oxidative degradation. Studies show that the introduction of antioxidants, heat-resistant fillers and modifiers can significantly improve the performance characteristics of materials and their durability [87].

Improving the fire resistance of thermoplastic elastomers is also an important aspect for their use in building structures. The use of minerals such as aluminum hydroxide and other flame-retardant additives shows promising results in improving the fire-retardant properties of composites, making them safer for use in high temperature environments [88].

The problem of rubber waste utilization remains relevant, and the use of crumb rubber as a filler for thermoplastics provides an opportunity not only to solve environmental problems, but also to expand the application area of such composites. Studies have proven that the addition of crumb rubber to polyethylene and polypropylene can improve certain mechanical characteristics such as impact strength and flexibility [89].

The key factors affecting the mechanical properties of composites are matrix characteristics, filler particle size and the level of adhesion between components. Optimization of these properties can be achieved by various methods such as changing the mixing technology, using modifiers and adhesion promoters [90].

The study of composites based on thermoplastic elastomers, particularly their blends with polypropylene and styrene thermoplastic elastomers, has become an important aspect because of the increasing demands for durability and safety of building materials [91].

Thermoplastic elastomers, including blends with polyolefin elastomers, have flexible, strong and resistant properties. This allows them to find applications in the construction, medical and automotive industries, where high strength and durability of materials are required [92].

Also the practical significance of the research lies in the development of new formulations of composites based on thermoplastic elastomers, which allows to create materials with improved performance characteristics. The created composites are characterized by high resistance to thermo-oxidative degradation and reduced flammability, which makes them suitable for the production of window seals, cable products, roofing membranes and other construction products [93].

The introduction of crumb rubber into the composition of thermoplastics solves the problems of utilization of waste rubber products and expands the practical applications of plastics. The resulting rubber plastics are used in waterproofing, production of roofing materials and rubber tiles, while optimizing their mechanical properties [94].

Studies show that different temperatures and rubber filler content significantly affect the deformation and strength of composites. In particular, certain concentrations of crumb rubber contribute to the transition of the material from brittle fracture to macrouniform plastic deformation, which opens up opportunities for targeted modification of the properties of rubber plastics [95-96].

Incorporation of waste-derived graphene into polymer composites can increase their mechanical and thermal performance while improving flexural and tensile strength. This supports the trend towards lighter and greener materials, which helps to reduce the carbon footprint in the automotive and other industries [97].

Results and Discussion. Research into polymers with improved conductive properties opens new horizons for flexible electronics. The development of conductive polymer nanocomposites can contribute to the creation of more reliable and durable flexible electronic devices, which will be a significant step forward in technology development [98].

Modification of polypropylene using various fillers such as polyamides, chalk fillers and carbon nanoparticles significantly improves its performance characteristics including strength, thermal stability and electrical conductivity. This opens new horizons for the application of

polypropylene composites in high stress and high temperature environments, which is important for the sustainable development of the electronics industry and other high-tech fields [99].

Research and development of polypropylene-based nanocomposites using various fillers open new horizons in the construction industry, improving the mechanical characteristics and thermal stability of materials. Special fillers help to accelerate crystallization processes and increase resistance to environmental influences, which makes such composites competitive for use not only in construction, but also in the packaging and automotive industries [100].

Thus, polypropylene composites are a promising area in materials production due to their versatility, availability and modification possibilities, such as carbon nanotubes, phosphorus-containing flame retardants, lignin, elastomers, thermoplastics and others. These modifications allow to significantly improve mechanical properties, heat resistance, flame retardancy and expand their application in high-tech and industrially important areas.

Conclusions. Research in the field of increasing the strength and heat resistance of composite materials is one of the promising areas in the field of chemical technologies and materials science, opening up wide opportunities for the development of innovative solutions.

Metal and polypropylene-based composites have the potential for application in high temperatures and aggressive environments due to the possibility of modifying their structure and composition. The methods and technologies presented in the article allow expanding their functional capabilities, including integration with innovative components.

The review shows that the use of modern modification methods, such as the introduction of reinforcing refractory particles, improvement of interfacial interaction, the use of carbon fibers and nanotubes, phosphorus-containing flame retardants, lignin, elastomers, thermoplastics allows to significantly increase the strength characteristics and heat resistance of composites.

The prospectivity of developments in this direction is due to the growing requirements for materials used in the metallurgical industry, construction, transportation, energy. Special attention should be paid to the development of hybrid materials that combine the advantages of polymers, metals and carbon fibers. Future research should be aimed at optimizing upgrading technologies and studying their performance characteristics of composites.

Funding: BR24992883 Establishment of a science and technology park for petrochemicals and polymer materials to provide services and implementation of applied Research Work results in priority sectors of the country's economy (2024-2026).

References

1. Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A. Sovremennye polimernye kompozicionnye materialy i ih primenenie // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. - 2018. – No. 5. – S. 245-256. [in Russian]
2. Lebedeva O.V., Sipkina E.I. Polimernye kompozity i ih svojstva // Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija. – 2022. – Tom 12. – No. 2. – S. 192-207. DOI 10.21285/2227-2925-2022-12-2-192-207. [in Russian]
3. Gurbanov N.A., Sidorov D.B., Ismailova K.H. Composite materials, general properties and usage areas // Sciences of Europe. – 2021. – No. 78. – P. 25-27. DOI 10.24412/3162-2364-2021-78-1-25-27
4. Hull D., Clyne T.W. An Introduction to Composite Materials. – Cambridge: Cambridge University Press. 1996. – 326 p. ISBN 978-0521388559. DOI 10.1017/CBO9781139170130
5. Schwartz M.M. Composite Materials: Properties, Non-Destructive Testing and Repair, Polymer, Ceramic, Metal Matrices. – USA: Prentice Hall Inc., 1997. – 423 p. ISBN-10 100133000478, ISBN-13 978-0133000474
6. Sumithra G., Reddy R., Kumar G, Ojha S., Jayachandra G., Raghavendra G. Review on composite classification, manufacturing, and applications // Materials Today: Proceedings. – 2023. – P. 45-51. DOI 10.1016/j.matpr.2023.04.637

7. Ashrith H.S. , Jeevan T.P., Xu Jinyang. A Review on the Fabrication and Mechanical Characterization of Fibrous Composites for Engineering Applications // J. Compos. Sci. – 2023. 7, 252. DOI 10.3390/jcs7060252
8. Novye materialy [Tekst] / V.N. Anciferov [i dr.]; red. Ju.S. Karabasov. - M.: MISIS, 2002. - 736 s. ISBN 5-87623-114-2. [in Russian]
9. Resego Phiri, Sanjay Rangappa, Suchart Siengchin. Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review// Heliyon. – 2024. – Vol. 10, Issue 21. – 24 p. DOI 10.20998/2074-272X.2017.6.01
10. Wanberg J. Composite Materials: Fabrication Handbook #2. – USA: Wolfgang Publications, Inc., 2010. – 144 p. ISBN 1929133936.
11. Jah'jaeva H.Sh., Zajkov G.E., Deberdeev T.R., Ulitin N.V. Strukturnye osnovy mezhfaznoj adgezii v polimernyh kompozitah // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2012. – T. 15. – No. 5. – S. 68-70. [in Russian]
12. Smirnova O.E., Pichugin A.P., Hritankov V.F. Adgezionnaja prochnost' v strukture kompozicionnyh materialov na osnove organicheskogo syr'ja // Stroitel'nye materialy. – 2024. – No. 5. – S. 17-21. DOI 10.31659/0585-430X-2024-824-5-17-21. [in Russian]
13. Mel'nichenko M. A., Ershova O. V., Chuprova L. V. Vlijanie sostava napolnitelja na svojstva polimernyh kompozicionnyh materialov // Molodoj uchenyj. – 2015. – No. 16 (96). – S. 199-202. [in Russian]
14. Milejko S.T. Novye kompozity s metallicheskoj matricej // Mezhotraslevoj seminar pamjati prof. T.D. Karimbaeva "Primenenie kompozicionnyh materialov v dvigatelestroenii". Moskva, Rossiya. – 2023. – S. 7-10. [in Russian]
15. Ivanov V.A. Metody vosstanovlenija tehnologicheskogo i vspomogatel'nogo oborudovanija iznosostojkimi kompozicionnymi materialami: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.02.13 - Mashiny, agregaty i processy (ljogkaja promyshlennost'). – Moskva. – 2014. –166 s. [in Russian]
16. Milejko S.T. Jentoni Kelli i kompozitnye materialy segodnja. Chast' 2: Kompozity s metallicheskoj matricej // Kompozity i nanostruktury. 2021. –T. 13. – No. 3-4 (51-52). – S. 59-107. DOI 10.36236/1999-7590-2021-13-3-4-59-107. [in Russian]
17. Senjushkin N.S., Jamaliev R.R., Jalchibaeva L.R. Primenenie kompozicionnyh materialov v konstrukcii bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Molodoj uchenyj. 2011. –T. 1. – No. 4 (27). 1. – S. 59-61. [in Russian]
18. Even C., Arvieu C., Quenisset J.M. Powder route processing of carbon fibers reinforced titanium matrix composites // Composites Science and Technology. – 2008. – Vol. 68(6). – P. 1273-1281. DOI 10.1016/j.compscitech.2007.12.014.
19. Saldias C., Bonardd S., Quezada C., Radic D., Leiva A. The role of polymers in the synthesis of noble metal nanoparticles: a review // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2017. – Vol. 17. – P. 87-114. DOI 10.1166/jnn.2017.13016
20. Prokopec A.D. Stroenie i mehanicheskie harakteristiki sloistogo kompozicionnogo materiala na osnove MAH-fazy Ti_3AlC_2 , poluchennogo metodom svobodnogo SVS-szhatija / A.D. Prokopec, P.M. Bazhin, A.S. Konstantinov, A P. Chizhikov, P.A. Stolin // Neorganicheskie materialy. – 2021. – T. 57. – No. 9. – S. 986–990. DOI 10.31857/S0002337X2109013X. [in Russian]
21. Sabadaha E.N., Prokopchuk N.R., Shutova A.L. Termostabil'nye kompozicionnye materialy // Trudy BGTU. – 2017. – Serija 2. – No. 2. – S. 108-115. [in Russian]
22. Grashhenkov D.V. Strategija razvitija nemetallicheskih materialov, metallicheskih kompozicionnyh materialov i teplozashhity // Aviacionnye materialy i tehnologii. -2017. - No. S. -S. 264-271. DOI 10.18577/2071-9140 -2017-0-S-264-271. [in Russian]
23. Akmeev A.R., Guljaev I.N., Il'ichev A.V., Ivanov N.V. Issledovanie mehanicheskih svojstv metallokompozita (Aljuminij-ugleplastik) s adaptivnoj shemoj armirovanija // Aviacionnye materialy i tehnologii. – 2017. – No. 3 (48). – S. 43-49. DOI 10.18577 /2071 -9140-2017-0-3-43-49. [in Russian]

24. Jakovlev A.L., Nochovnaja N.A., Putyrskij S.V., Krohin V.A. Titanopolimernye sloistye materialy // *Aviacionnye materialy i tehnologii*. – 2016. – No. S2 (44). – S. 56-62. DOI 10.18577/2071-9140-2016-0-S2-56-62. [in Russian]
25. Arislanov A.A., Goncharova L.Ju., Nochnaja N.A., Goncharov V.A. Perspektivy ispol'zovanija titanovyh splavov v sloistyh kompozicionnyh materialah // *Trudy VIAM*. – 2015. – No. 10. – S. 20-23. DOI 10.18577/2307-6046-2015-0-10-4-4. [in Russian]
26. Valueva M.I., Zelenina I.V., Haskov M.A., Guljaev A.I. Podgotovka uglerodnogo volokna k naneseniju interfaznogo pokrytija dlja kompozicionnyh materialov s keramicheskoy matricej// *Trudy VIAM*. – 2017. – No. 10 (58). – S. 79-89. DOI 10.18577/2307-6046-2017-0-10-9-9. [in Russian]
27. Bedmar J., Torres B., Rams J. Manufacturing of Aluminum Matrix Composites Reinforced with Carbon Fiber Fabrics by High Pressure Die Casting // *Materials*. – 2022. 15(9). 3400. – P. 2-18. DOI 10.3390/ma15093400
28. Jian-jun Sha, Zhao-zhao Lü, Ru-yi Sha., et al. Improved wettability and mechanical properties of metal coated carbon fiber-reinforced aluminum matrix composites by squeeze melt infiltration technique // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2021. – Vol. 31. Issue 2. – P. 317-330. DOI 10.1016/S1003-6326(21)65498-5
29. Lee Y., Park S., Han J. Carbon Fiber/Aluminum Composite Fabrication Using Wettability Control // *Composites Research*. – 2015. – Vol. 28. Issue 5. – P. 254-259. DOI 10.7234/composres.2015.28.5.254
30. Choi Y., Meng X., Xu Z. Manufacturing process of short carbon fiber reinforced Al matrix with preformless and their properties // *Scientific Reports*. – 2021. – 11:23385 – P. 1-8. DOI 10.1038/s41598-021-02915-7
31. Tian Y.S., Chen C.Z., Chen L.B., Liu J.H. Wear properties of alloyed layers produced by laser surface alloying of pure titanium with B₄C and Ti mixed powders // *Journal of Materials Science*. – 2005. – Vol. 40. – P. 4387-4390. DOI 10.1007/s10853-005-0736-2
32. Fouvry S., Paulin C., Deyber S. Impact of contact size and complex gross-partial slip conditions on Ti-6Al-4V/Ti-6Al-4V fretting wear // *Tribology International*. – 2009. – Vol. 42(3). – P. 461-474. DOI 10.1016/j.triboint.2008.08.005
33. Krasnov E.I., Serpova B.M., Hodykin L.F., Gololobov A.B. Metallicheskie kompozicionnye materialy na osnove titanovyh splavov, armirovannyh tugoplavkimi chasticami (Obzor) // *Trudy VIAM*. – 2021. – No. 6 (100). – S. 36-45. DOI 10.18577/2307-6046-2021-0-6-36-45. [in Russian]
34. Soorya Prakash K., Gopal P.M., Anburose D., Kavimani V. Mechanical, corrosion and wear characteristics of powder metallurgy processed Ti-6Al-4V/B₄C metal matrix composites // *Ain Shams Engineering Journal*. – 2018. – Vol. 9(4). – P. 1489–1496. DOI 10.1016/j.asej.2016.11.003
35. Qin Y.L., Geng L. Dry sliding wear behavior of titanium matrix composites hybrid-reinforced by in situ TiB whisker and TiC particle // *Journal of Materials Science*. – 2011. – Vol. 46. – P. 4980-4985. DOI 10.1007/s10853-011-5415-x
36. Balaji V.S., Kumaran S. Dry sliding wear behavior of titanium (TiB + TiC) in situ composite developed by spark plasma sintering // *Tribology Transactions*. – 2015. – Vol. 58(4). – P. 698–703. DOI 10.1080/10402004.2014.993780
37. Zheng B., Dong F., Yuan X. et al. Microstructure and tribological behavior of in situ synthesized (TiB + TiC)/Ti6Al4V (TiB/TiC = 1/1) composites // *Tribology International*. – 2020. – Vol. 145: 106177. DOI 10.1016/j.triboint.2020.106177
38. Yoganandam K., Mohanavel V., Vairamuthu J, Kannadhasan V. Mechanical properties of titanium matrix composites fabricated via powder metallurgy method // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. –Vol. 33(7). – P. 3243-3247. DOI 10.1016/j.matpr.2020.04.569
39. Fereiduni E. Selective laser melting of hybrid ex-situ/in-situ reinforced titanium matrix composites: Laser/powder interaction, reinforcement formation mechanism, and non-equilibrium

- microstructural evolutions / E. Fereiduni, A. Ghasemi, M. Elbestawi // *Materials & Design*. – 2019. – Vol. 184:108185. DOI 10.1016/j.matdes.2019.108185
40. Peters M. Titanium Metal Matrix Composites: An Overview / Leyens C., Kumpfert C., Nickel R. B. // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2019. – Vol. 121. – P. 418-438. DOI 10.1016/j.compositesa.2019.04.005
 41. Arvieu, C. Interaction between titanium and carbon at moderate temperatures [Text] / C. Arvieu, J.P. Manaud, J.M. Quenisset // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2004. – Vol. 368 (1-2). – P. 116-122. DOI 10.1016/j.jallcom.2003.08.051
 42. Sidorov D.V. Issledovanie mezhfaznogo vzaimodejstviya na granice razdela v sisteme Ti-C s otechestvennymi titanovymi splavami $\alpha+\beta$ i psevdoo- α / D.V. Sidorov, V.M. Serpova, A.V. Zavodov, A.A. Shavnev // *Fizika i himija obrabotki materialov*. – 2020. – No. 5. – S. 75-81. DOI 10.30791/0015-3214-2020-5-75-81. [in Russian]
 43. Jiao F. Continuous carbon fiber reinforced Ti/Al₃Ti metal-intermetallic laminate (MIL) composites fabricated using ultrasonic consolidation assisted hot pressing sintering / F. Jiao, M. Liu, F. Jiang [et al.] // *Materials Science & Engineering A*. – 2019. – Vol. 765: 138255. DOI 10.1016/j.msea.2019.138255.
 44. Han, Y. Fabrication, interfacial characterization and mechanical properties of continuous Al₂O₃ ceramic fiber reinforced Ti/Al₃Ti metal-intermetallic laminated (CCFR-MIL) composite / Y. Han, C. Lin, X. Han [et al.] // *Materials Science & Engineering A*. – 2017. – Vol. 688. – P. 338–345. DOI 10.1016/j.msea.2017.02.024
 45. Ji, C., Wang, B., Hu, J., et al. Effect of different preparation methods on mechanical behaviors of carbon fiber-reinforced PEEK-Titanium hybrid laminates // *Polymer Testing*. – 2020. – Vol. 85: 106462. DOI 10.1016/j.polymertesting.2020.106462.
 46. Vecchio, K.S., Jiang, F. Fracture toughness of Ceramic-Fiber-Reinforced Metallic-Intermetallic-Laminate (CFR-MIL) composites // *Materials Science & Engineering A*. – 2016. – Vol. 649. – P. 407–416. DOI 10.1016/j.msea.2015.10.018.
 47. Mahaviradhan, N., Sivaganesan, S., Sravya, N.P., Parthiban, A. Experimental investigation on mechanical properties of carbon fiber reinforced aluminum metal matrix composite // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – Vol. 39(1). – P. 743–747. DOI 10.1016/j.matpr.2020.09.443
 48. Deshpande, M., Gondil, R., Rahul, S.V.S., et al. Processing and characterization of carbon fiber reinforced aluminium 7075 // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – Vol. 5(2). – P. 7115–7122. DOI 10.1016/j.matpr.2017.11.376
 49. Deshpande, M., Ramesh, S.V.S., Gondil, R., et al. Studies on 7075 aluminum alloy MMCs with milled carbon fibers as reinforcements // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. – 2018. – Vol. 71(4). – P. 993–1002. DOI 10.1007/s12666-017-1233-4
 50. Tamilarasan U., Karunamoorthy L., Palanikumar K. Mechanical properties evaluation of the carbon fiber reinforced aluminum sandwich composites // *Materials Research*. – 2015. – Vol. 18(5). – P. 1029–1037. DOI 10.1590/1516-1439.017215.
 51. Shljammnev A.I. i dr. Korroziionnye, zharoprochnye i vysokoprochnye stali i splavy. – M.: Intermet Inzhiniring-Ring, 2000. – 232 s. ISBN 5-89594-028-5. [in Russian]
 52. Hudjakov M.A. Materialovedenie: ucheb. posobie / M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federacii, Feder. agentstvo po obrazovaniju, Gos. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya "Ufim. gos. neftjanov tehn. un-t". - Ufa : Monografija. – 2006 (Ufa : Ufimskij poligraficheskij kombinat). – 237 s. ISBN 5-94920-048-9 (V per.)
 53. Korotkih M.T. Tehnologija konstrukcionnyh materialov i materialovedenie: Uchebnoe posobie. – Sankt-Peterburg.: SPPU. – 2004. – 104 s. [in Russian]
 54. Tolkacheva A.S., Pavlova I.A. Obshhie voprosy tehnologii tonkoj keramiki: uchebnik. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta. – 2018. – 184 s. ISBN: 978-5-7996-2393-7. [in Russian]
 55. Bolton U. Strukturnye materialy: metally, splavy, polimery, keramika, kompozity / Per. s angl. – M.: Dodeka-XXI. – 2007. – 319 s. ISBN: 978-5-94120-109-9. [in Russian]

56. Ivanov D.A., Sitnikov A.I., Shljapin S.D. Kompozicionnye materialy / Pod red. avtor: A.A. Il'in. – Moskva: Izdatel'stvo Jurajt. – 2024. – 253 s. ISBN: 978-5-534-11618-2. [in Russian]
57. Spravochnik po kompozicionnym materialam: v 2-h kn. Kn. 1 / Pod red. Dzh. Ljubina; Per s ang. A.B. Gellera, M.M. gel'monta; pod red. B.Je. Gellera. – M.: Mashinostroenie. – 1988. – 488 s. ISBN 5-217-00225-5. [in Russian]
58. Ajler, Ral'f K. Himija kremnezema: rastvorimost', polimerizacija, kolloidnye i poverhnostnye svojstva, biohimija: v 2 chastjah / R. Ajler; per. s angl. L. T. Zhuravleva, pod red. V. P. Prjanishnikova. Ch. 1. – Moskva: Mir. – 1982. – 416 s. (V per.)
59. Kosicyn N.O. Povyshenie zharostojkosti i termostojkosti kompozicionnogo materiala sistemy metallokeramika // Vostochnoevropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2013. – No. 10 (66). – S. 61–65. [in Russian]
60. Nekrasov G.B., Odarchenko I.B. Osnovy litejnoj tehnologii. Plavka, zalivka metalla, lit'e pod davleniem. – Minsk: Vysshaja shkola, 2013. – 223 s. ISBN: 978-985-06-2365-2. [in Russian]
61. Ibadullaev A., Teshabaeva Zh., Kaharov B., Nigmatova D. Composite elastomeric materials filled with modified mineral fillers// E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264 –. S. 1-9. DOI 10.1051/e3sconf/202126405006
62. Matthews F.L., Rawlings R.D. Composite Materials: Engineering and Science. – CRC Press. – 1999. – 480 p. ISBN: 978-1-85573-473-9
63. Simamora P. Mechanical properties of polypropylene composites with different reinforced natural fibers – a comparative study / P. Simamora, J. Simanjuntak, K. Sinulingga, A. D. Laksono // Journal of Ecological Engineering. – 2023. – Vol. 24(7). – P. 311–317. DOI [10.12911/22998993/164757](https://doi.org/10.12911/22998993/164757)
64. Mohammed J.K., Oleiwi A.M., Jawad A.J.M., et al. A Review on the Advancement of Renewable Natural Fiber Hybrid Composites: Prospects, Challenges, and Industrial Applications // Journal of Renewable Materials. – 2024. – Vol. 12(7). – P. 1237–1290. DOI 10.32604/jrm.2024.051201
65. Nurazzi M.N., Moklis M.H., Demon S.Z.N., et al. Carbon nanotubes: functionalisation and their application in chemical sensors // The Royal Society of Chemistry. – 2020. – Vol. 10(71). – P. 43704–43732. DOI 10.1039/d0ra09438b
66. Nedorezova P.M., Kljamkina A.N., Palaznik O.M., Shevchenko V.G. Kompozicionnye materialy na osnove polipropilena i uglerodnyh nanonapolnitelej, poluchennye metodom polimerizacii in situ // Nauka o polimerah. – 2024. – T. 66. – No.2. – S. 121–139. DOI 10.31857/S2308113924020044. [in Russian]
67. Lebedeva O.V., Sipkina E.I. Polimernye kompozity i ih svojstva. // Izvestija vuzov. prikladnaja himija i biotehnologija. - 2022. – T. 12. – No. 2. – S. 192-207. DOI 10.21285/2227-2925-2022-12-2-192-207. [in Russian]
68. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. –5th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2000. DOI 10.1002/0471238961
69. Czakaj J., et al. Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene, Polyoxymethylene and Poly(methyl methacrylate) Modified with Adhesive Resins // Journal of Composites Science. -2024. -Vol. 8(10). – P. 384–392. DOI 10.3390/jcs8100384
70. Alsabri A., Tahir F., Al-Ghamdi S.G. Environmental impacts of polypropylene (PP) production and prospects of its recycling in the GCC region // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 56. – P. 2245–2251. DOI 10.1016/j.matpr.2021.11.574
71. Uyor U.O., et al. A review of recent advances on the properties of polypropylene-carbon nanotubes composites // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2023. – Vol. 36(9). – P. 3737–3770. DOI 10.1177/08927057221077868
72. Pötschke P., Mothes F., Krause B., et al. Melt-Mixed PP/MWCNT Composites: Influence of CNT Incorporation Strategy and Matrix Viscosity on Filler Dispersion and Electrical Resistivity // Polymers. – 2019. – 11(2). – P. 1-13. DOI 10.3390/polym11020189

73. Daulath Banu R., Karunanithi R., et al. Synthesis, characterization, thermal and mechanical behavior of polypropylene hybrid composites embedded with CaCO_3 and graphene nano-platelets for structural applications // *AIMS Materials Science*. – 2024. – Vol. 11(3). – P. 463–494. DOI 10.3934/matricsci.2024024
74. Krasnov K.V. Razrabotka kompozitov na osnove termojelastoplastov s uluchshennymi jekspluatacionnymi svojstvami: dis. ... kand. tehn. nauk / K.V. Krasnov. -Moskva : Rossijskij himiko-tehnologicheskij universitet im. D.I. Mendeleeva. – 2023. — 110 s. [in Russian]
75. Serenko O.A., Goncharuk G.P., Nasrullaev I.N., Magomedov G.M. i dr. Vlijanie temperatury na mehanizm razrushenija kompozita polijetilen-rezina. // *Vysokomolekuljarnye soedinenija*. – 2003. – T.45. – No.11. – S.1900-1908. [in Russian]
76. Meng Ye, Mauro Pasta, Xing Xie. Charge-Free Mixing Entropy Battery Enabled by Low-Cost Electrode Materials // *ACS Omega*. – 2024. – Vol. 4(7). – P. 11785-11790. DOI 10.1021/acsomega.9b00863
77. Zhong Hu, Haiping Hong. Review on Material Performance of Carbon Nanotube-Modified Polymeric Nanocomposites // *Recent Progress in Materials*. – 2023, 5(3). P. 1-43. DOI 10.21926/rpm.2303031
78. Koca A, Ureyen M, Yuksel G. Effects of Carbon Nanotube-Phosphorus Based Flame Retardant Combinations on Flammability of Polypropylene // *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*. – 2019. – P. 19-24. DOI 10.35333/porta.2019.21
79. Hisham A. Maddah. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review // *American Journal of Polymer Science*. – 2016. – Vol. 6(1). – P. 1-11. DOI 10.5923/j.ajps.20160601.01
80. Changbo Zhang, Yongfang Jiang, Shenghua Li, et al. Recent trends of phosphorus-containing flame retardants modified polypropylene composites processing // *Heliyon*. – 2022. – Vol. 8. – P. 102–115. DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e11225
81. Rogovina S.Z., Prut Je.V. Berlin A.A. Kompozicionnye materialy na osnove sinteticheskikh polimerov, armirovannyh voloknami prirodnogo proishozhdenija// *Vysokomolekuljarnye soedinenija*, – 2019. – T. 61. – No. 4. – S. 291-315. DOI 10.1134/S2308112019040084. [in Russian]
82. Tanjung F., Kuswardani R., Karim A. Characterization of mechanical and thermal properties of esterified lignin modified polypropylene composites filled with chitosan fibers // *Polymers and Polymer Composites*. – 2022. – Vol. 30. DOI 10.1177/09673911221082482
83. Salmah H., Faisal A., Kamarudin H. Chemical Modification of Chitosan-Filled Polypropylene (PP) Composites: The Effect of 3-aminopropyltriethoxysilane on Mechanical and Thermal Properties // *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*. – 2011. – Vol. 60(7). – P. 429-440. DOI 10.1080/00914037.2010.531812
84. Nazrun T. Application of biopolymers as sustainable cladding materials: a review / T. Nazrun, Md K. Hassan, Md D. Hossain, B. Ahmed, Md R. Hasnat, S. Saha // *Sustainability*. – 2024. - Vol. 16. DOI 10.3390/su16010027
85. Alam M.I., Maraz K.M., Khan R.A. A review on the application of high-performance fiber-reinforced polymer composite materials // *GSC Advanced Research and Reviews*. – 2022. – Vol. 10(2). – P. 20–36. DOI 10.30574/gscarr.2022.10.2.0036
86. Kakhramanov N., Allahverdiyeva K., Gahramanli Y., Martynova G. Physical-mechanical properties of multifunctional thermoplastic elastomers based on polyolefins and styrene-butadiene elastomer // *Journal of Elastomers & Plastics*. – 2022. – Vol. 55, Issue 2. – P. 279-302. DOI 10.1177/00952443221147030
87. Mărieș GRE, Abrudan A.M.. Thermoplastic polymers in product design // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 393: 012118. DOI 10.1088/1757-899X/393/1/012118
88. Alshammari B.A., Alsuhybani M.S., Almushaikeh A.M., et al. Comprehensive Review of the Properties and Modifications of Carbon Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites // *Polymers*. – 2023. – Vol. 13(15): 2474. DOI 10.3390/polym13152474

89. Shirvanimoghaddam, K. Balancing the toughness and strength in polypropylene composites / K. Shirvanimoghaddam, K. V. Balaji, R. Yadav, O. Zabihi, M. Ahmadi, P. Adetunji, M. Naebe // *Composites. Part B, Engineering.* – 2021. – Vol. 223: 109121. DOI 10.1016/j.compositesb.2021.109121
90. Varga L.J., Baranyi T. Development of recyclable, lightweight polypropylene-based single polymer composites with amorphous poly- α -olefin matrices // *Composites Science and Technology.* – 2021. – Vol. 201:108535. DOI 10.1016/j.compscitech.2020.108535
91. Zhao W. Flame retardant treatments for polypropylene: strategies and recent advances / W. Zhao, C. K. Kundu, Z. Li, X. Li, Z. Zhang // *Composites. Part A, Applied Science and Manufacturing.* – 2021. – Vol. 145: 106382. DOI 10.1016/j.compositesa.2021.106382
92. Mojtaba Ajorloo, Maryam Ghodrat, Won-Hee Kang. Incorporation of Recycled Polypropylene and Fly Ash in Polypropylene-Based Composites for Automotive Applications // *Journal of Polymers and the Environment.* – 2021. – Vol. 29. – P. 1298–1309. DOI 10.1007/s10924-020-01961-y
93. Khan T, M.S. Irfan, M. Ali, Y. Dong, S. Ramakrishna, R. Umer. Insights into Low Electrical Percolation Thresholds of Carbon-Based Polymer Nanocomposites // *Carbon.* – 2021. – Vol. 176. – P. 602-631. DOI 10.1016/j.carbon.2021.01.158
94. Umarov Sh.Sh., Kasimov Sh.A., Dzhililov A.T. Napolnitel' dlja poluchenija polimera na osnove metalloorganicheskikh soedinenij // *Universum: tehicheskie nauki: jelektron. nauchn. zhurn.* – 2022. – No. 5(98). DOI 10.32743/UniTech.2022.98.5.13636. [in Russian]
95. M.V. Bazunova, A.V. Smirnov, A.R. Sadritdinov. Poluchenie i Svojstva Polimernyh Kompozitov na Osnove Polipropilena i Oksida Aljuminija // *Vestnik Bashkirskogo Universiteta.* – 2021. – T. 26. – No.1. – S. 79–83. DOI 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.13. [in Russian]
96. Grinyas A., Sivilevich H., Pupekisa D., Ivanauskas E. Fracture of concrete containing crumb rubber. // *Journal of Civil Engineering and Management.* – 2013. – Vol. 19(3). – P.447-455 DOI 10.3846/13923730.2013.782335
97. Belal Aleemou, M.H. Yaacob, Lim H.N, Mohd Rosadi Hassan. Review of Electrical Properties of Graphene Conductive Composites // *International Journal of Nanoelectronics and Materials.* – 2018. – Vol. 11(4). – P. 371–398
98. Laura D.M., Keskkula H. Effects of rubber particle size and rubber type on the mechanical properties of glass fiber reinforced, rubber-toughened nylon 6 // *Polymer.* – 2000. – Vol. 41(19). –P. 7165-7174. DOI 10.1016/S0032-3861(00)00049-5
99. Abdugarimova S.A., Bozorova N.H., Turaev Je.R. Uluchshenie fiziko-mekhanicheskikh svojstv polipropilena s pomoshh'ju steklovolokna // *Universum: tehicheskie nauki: jelektron. nauchn. zhurn.* – 2021. – No. 6(87).
100. Ingole S. B. Enhancing mechanical and thermal properties of polymer matrix nanocomposites through tailored nanomaterial architectures / S. B. Ingole, P. Sharma, R. Verma, S. Chowdhury, P. P. Patil, S. P. Dwivedi, A. K. Khan // *E3S Web of Conferences : proc. of the Int. Conf. "Advanced Materials for Green Chemistry and Sustainable Environment" (AMGSE-2024).* – 2024. – Vol. 511: 01016. DOI 10.1051/e3sconf/202451101016

Information about the authors

Tolymbekova L. – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tolymbekova_lb@enu.kz;
 Kolpek A. – Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aynagulk@mail.ru;
 Kopishev E. – Candidate of Chemistry Sciences, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kopishev_eye@enu.kz;
 Tursynova A. – Candidate of Chemical Sciences, acting associate professor, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tursynova_ak@enu.kz;
 Seitenova G. – Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: seitenova_gzh@enu.kz.

Сведения об авторах

Толымбекова Л.Б. – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Химия», факультет естественных наук, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: tolymbekova_lb@enu.kz;

Колпек А. – кандидат химических наук, доцент кафедра «Химия», факультет естественных наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Копишев Э.Е. – кандидат химических наук, кафедра «Химия», факультет естественных наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: lkopishev_eye@enu.kz;

Турсынова А.К. – кандидат химических наук, и.о доцента кафедры «Химия», факультет естественных наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: tursynova_ak@enu.kz;

Сейтенова Г.Ж. – кандидат химических наук, доцент, кафедра «Химия», факультет естественных наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: seitenova_gzh@enu.kz.