

Инновационные подходы к использованию экологически безопасных полимерных связующих в производстве теплоизоляционных материалов на основе растительного сырья

М. Содомон, И.В. Степина, А.Е. Воронина, С.Р. Рагимова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет Москва, Россия

Аннотация: Статья посвящена инновационным подходам к использованию экологически безопасных полимерных связующих в производстве теплоизоляционных материалов на основе растительного сырья. Актуальность работы обусловлена необходимостью замены традиционных синтетических полимеров, таких, как пенополиуретан, пенополистирол и минеральная вата, которые в процессе эксплуатации выделяют токсичные вещества с кумулятивными свойствами. Исследования показывают, что использование биополимеров и возобновляемых ресурсов, таких, как полиуретановые смолы на основе касторового масла и казеиновые клеи, может значительно снизить экологическую нагрузку и повысить безопасность материалов. Особое внимание уделено термопластичным и термореактивным матрицам, их свойствам и применению в композиционных материалах. Термопласты, такие, как полиэтилен и полипропилен, обладают высокой ударопрочностью и возможностью вторичной переработки, но ограничены в применении из-за сложности переработки и высокой температуры плавления. Термореактивные матрицы, несмотря на высокую прочность и устойчивость к химическим воздействиям, формируются только один раз, что делает их трудными для переработки. В статье рассматриваются преимущества и недостатки различных полимерных связующих, а также перспективы их развития в контексте экологической устойчивости и эффективности теплоизоляционных материалов. Исследования направлены на улучшение физико-механических свойств композитов и оптимизацию производственных процессов для создания доступных и экологически безопасных теплоизоляционных материалов.

Ключевые слова: инновационные подходы, экологически безопасные полимеры, теплоизоляционные материалы, растительное сырье, биополимеры, возобновляемые ресурсы, термопласты, термореактивные матрицы, экологическая устойчивость, физико-механические свойства.

Введение

В современном строительстве и промышленности все большую роль играют материалы с высокими эксплуатационными характеристиками, обеспечивающие не только надежность и долговечность конструкций, но и безопасность для окружающей среды и здоровья человека. Одной из важнейших категорий таких материалов являются изоляционные материалы, используемые для тепло- и звукоизоляции зданий, промышленного оборудования и транспортных средств. Традиционно широко применяемые синтетические изоляционные материалы, такие, как пенополиуретан,

пенополистирол и минеральная вата, обладают хорошими теплотехническими характеристиками, но выделяют в процессе эксплуатации токсичные вещества, что ограничивает их использование и вызывает озабоченность по поводу их воздействия на здоровье человека [1].

В ответ на растущий спрос на экологически безопасные материалы ведутся активные исследования и разработки новых видов полимеров и композитов, которые сочетают высокие эксплуатационные свойства с минимальным воздействием на окружающую среду [2-4]. В последние десятилетия особое внимание уделяется созданию полимеров на основе возобновляемых ресурсов и биоразлагаемых материалов [5-7]. Эти полимеры включают в себя как термопластичные, так и термореактивные матрицы, которые используются в составе композитов для улучшения их физико-механических характеристик и долговечности [8-10]. Важное место среди таких разработок занимают инновационные связующие на биологической основе, которые потенциально могут заменить синтетические смолы, широко используемые в производстве древесностружечных плит (ДСП) и других материалов [11-14].

Синтетические клеи, такие как мочевиноформальдегидные и фенолформальдегидные смолы, обеспечивают высокую прочность и устойчивость композитов, но при этом выделяют токсичные вещества, включая формальдегид, признанный канцерогеном [15]. В связи с этим усиливается интерес к разработке альтернативных связующих, в том числе, на основе природных полимеров, таких, как полиуретановые смолы из касторового масла, казеиновые клеи и другие биоразлагаемые материалы, которые обладают рядом преимуществ с точки зрения экологической безопасности и совместимости с природными волокнами [16-18].

Таким образом, текущие исследования в области полимерных материалов направлены на создание экологически безопасных и

эффективных композитов, способных удовлетворить растущие требования рынка к материалам с высокими эксплуатационными характеристиками и минимальным экологическим следом.

Метод и методология

Методология исследования направлена на комплексный анализ применения экологически безопасных полимерных связующих в производстве теплоизоляционных материалов на основе растительного сырья. Основной задачей является оценка эксплуатационных характеристик таких материалов с использованием современных подходов и технологий, а также определение преимуществ и недостатков использования биоразлагаемых полимеров.

Анализ литературных данных и патентов: проведен обзор существующих исследований, патентов и технологических решений в области использования экологически безопасных полимерных связующих. Оценены текущие тенденции и перспективы развития с акцентом на устойчивые и биоразлагаемые полимеры.

Результаты и обсуждения

На основании исследований характеристик теплоизоляционных материалов автор [1] пришел к выводу, что пенополиуретан, пенополистирол, экструдированный пенополистирол, минеральная вата и др. полиэтиленовые изделия и пена в процессе эксплуатации выделяют токсичные вещества, концентрация которых хотя и не превышает ПДК, но тем не менее, они обладают кумулятивными свойствами, что ограничивает сферу применения этих материалов. Согласно исследованию [1], пеностекло является наиболее оптимальным теплоизоляционным материалам по тепловым, техническим, эксплуатационным, физико-механическим свойствам, к тому же оно экологически безопасно и технологично. Однако, производство этого материала достаточно энергоемко и требует

модификации и оптимизации составов, а также совершенствования технологии производства с целью удешевления этого материала без потери физико-механических параметров.

В рамках поиска новых и все более высокоэффективных материалов в первой четверти 20-го века были открыты и внедрены полимерные материалы с целью их лучшей адаптации к комфорту повседневной жизни [2]. При этом большинство используемых в настоящее время полимеров являются синтетическими, более 80% органических матриц производятся из нефтехимических продуктов [3].

Органические матрицы принято подразделять на две категории:

- термопластичные матрицы;
- терморезистивные матрицы.

Термопласты имеют линейную или разветвленную молекулярную структуру с низкоэнергетическими связями типа Ван-дер-Ваальса. Теоретически это означает, что они могут быть многократно формованы путем последовательного нагрева и охлаждения, размягчаясь под действием тепла без деструкции. Это качество делает термопласты потенциально пригодными для вторичной переработки [4].

Применение термопластов в композиционных материалах ограничено сложностью их переработки из-за высокой вязкости и температуры [5]. До начала этого века термопласты обычно армировались короткими волокнами методом инъекции или экструзии, однако технологии листового формования позволили формировать термопласты с длинными волокнами [6].

Основными термопластичными смолами, используемыми для изготовления композитов массового спроса, являются поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полистирол (ПС) и полиамид (ПА). Для повышения термостойкости композитов были разработаны высокоэффективные термопласты, такие как поли(эфир-эфир-кетон) (PEEK),

поли(фенил-ен-сульфид) (PPS) и поли(эфир-имид) (PEI) [6].

В последние годы в связи с растущей заботой об окружающей среде большое количество научных исследований направлено на формирование инновационных матриц из возобновляемых и биоразлагаемых ресурсов [7]. Одним из таких термопластов является поли(молочная кислота) (PLA), которая является предметом многочисленных исследований, поскольку она коммерчески доступна и относительно недорога [8].

Термопласты обычно обладают хорошей ударопрочностью [5]. Они могут быть аморфными или полукристаллическими [9]. Аморфные термопласты не имеют установленного порядка в молекулярной структуре, из которой они состоят. Поэтому они имеют единственный характерный термический переход - стеклование T_g , которое соответствует разрыву слабых межцепочечных связей, приводящему к размягчению материала [10]. Полукристаллические термопласты имеют аморфную фазу (беспорядочное расположение молекул) и кристаллическую фазу (упорядоченное состояние, в котором молекулы распределены периодически) в переменных пропорциях. Поэтому они имеют два характерных тепловых перехода - стеклование T_g (характерно для аморфной зоны) и плавление T_f (соответствует исчезновению кристаллической фазы).

Знание температур этих переходов крайне важно, поскольку они определяют как температуру, при которой необходимо нагревать термопластичный полимер для его размягчения или расплавления, так и поведение материала при данной температуре в зависимости от желаемого состояния материала.

На долю термореактивных матриц приходится более трех четвертей европейского рынка. Они ценятся прежде всего за низкую вязкость, обеспечивающую хорошую пропитку армирующих элементов, и низкую температуру переработки.

В отличие от термопластичных матриц, термореактивные матрицы могут быть сформированы только один раз [11]. После полимеризации с использованием тепла в присутствии катализатора эти смолы образуют пространственную сеть. Их трехмерная структура обычно обладает более высокими термомеханическими (жесткость, прочность) и химическими свойствами, чем у термопластичных матриц.

Эти полимеры всегда находятся в аморфной форме. Поэтому они характеризуются исключительно температурой стеклования и не имеют температуры плавления [12]. К наиболее распространенным относятся ненасыщенные полиэфирные смолы, которые недороги и часто используются в массовом производстве, а также эпоксидные и виниловые эфиры, широко применяемые в высокопроизводительных технологиях. Существуют также аминопласты, фенопласты, полиимиды, полиуретаны и формальдегиды. Термореактивные смолы в основном формуруются методом литья или сжатия [13].

Клеи, наиболее часто используемые в производстве ДСП, представляют собой синтетические термореактивные смолы на основе формальдегида, в основном мочевиноформальдегидные и фенолформальдегидные. Помимо их преимуществ, заключающихся в коротком времени прессования, низкой стоимости и хороших механических характеристиках, следует отметить, что эти клеи напрямую связаны с опасениями по поводу особо токсичных выбросов формальдегида, представляющих серьезный риск для здоровья населения, подвергающегося их воздействию [14]. По данным Международного агентства по изучению рака, формальдегид классифицируется как канцероген для человека [15]. Поэтому было проведено большое количество исследований по замене смол на основе формальдегида в ДСП. Среди них новые клеи биологического происхождения (полисахариды, танины, белки, лигнины) [19-21], в

литературе упоминается полиуретановая смола, полученная из касторового масла [22,23], преимуществами которой являются частичная возобновляемость и нетоксичность [24]. Этот клей получают путем экстракции масла из семян растения *Ricinus communis*, которое характеризуется тем, что состоит в основном из рицинолеина (от 84 до 91%) - триглицерида рицинолевой кислоты [25], показанного на рисунок 1.

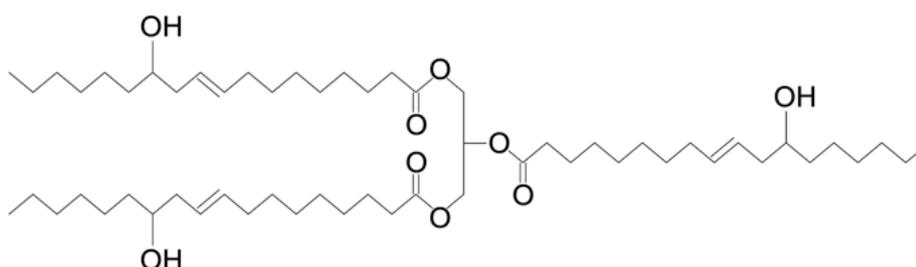


Рис. 1. – Химическая структура рицинолеина [26]

Последний придает ему свойства полиола (полифункционального спирта) за счет наличия гидроксильных групп, которые вступают в реакцию с диизоцианатом с образованием полиуретана [27]. В присутствии катализатора такие смолы называются двухкомпонентными. В противном случае они называются монокомпонентными [28]. Кроме того, полиуретановые смолы являются хорошей альтернативой нефтехимическим связующим, поскольку они хорошо совместимы с натуральными волокнами, а свободные изоцианатные группы связываются с гидроксильными группами в волокнах [29] как показано на рисунок 2.



Рис. 2. – Образование полиуретана - реакция между изоцианатными группами полиуретана и целлюлозными волокнами [30].

Таким образом, синтетические клеи, широко используемые при производстве ДСП (мочевиноформальдегидные, фенолформальдегидные), соединяются с лигноцеллюлозным материалом только за счет механической адгезии: после завершения полимеризации клей проникает в поры или щели растительного материала и скрепляет два компонента вместе [16]. Полиуретановые смолы, напротив, обладают способностью образовывать химические связи с растительным материалом в дополнение к механической фиксации [16, 17] (рисунок 3).

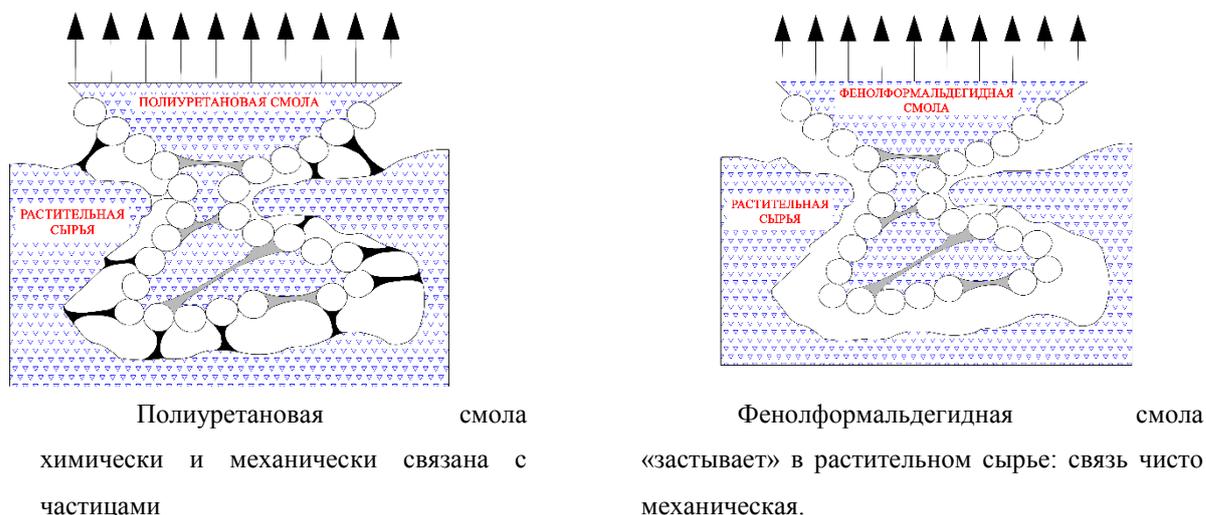


Рис. 3. – Сравнение адгезии лигноцеллюлозного материала к смоле (полиуретан/фенолформальдегид) (адаптировано из (Фрейзер и Ни, 1998)) [18]

В исследовании [18] по производству ДСП на основе койры, авторы отметили, что плиты, изготовленные с использованием полиуретана, полученного из касторового масла, имеют значительно лучшие физические (толщина набухания, водопоглощение) и механические (прочность на изгиб, внутренняя когезия) свойства, чем плиты, изготовленные с использованием мочевины-формальдегида. Эти результаты, по мнению [31], можно объяснить более однородным распределением полиуретана между

растительными частицами, наблюдаемым с помощью, СЭМ.

Кроме того, эффективность использования полиуретановой смолы на основе касторового масла в качестве связующего при производстве ДСП была отмечена и другими авторами, при этом механические свойства плит превышали показатели, рекомендованные американским стандартом ANSI (ANSI A208, 1999) [32].

Полимеры со связующими свойствами, полученные из природных ресурсов, сегодня пользуются все большим спросом. Действительно, связующими веществами, традиционно используемыми в производстве композитов, и, в частности, древесностружечных плит, являются формальдегид мочевины (UF), формальдегид меламино мочевины (MUF) и фенолформальдегид (PF). Они токсичны из-за содержания в них формальдегида, «летучих органических соединений» (ЛОС) [33-35]. Эта токсичность наблюдается во время производства композита, но также и на протяжении всего срока его службы из-за остаточных выбросов [34]. В июне 2004 года Международное агентство по изучению рака (IARC) классифицировало формальдегид как канцероген [15]. Таким образом, с этой даты начался поиск альтернатив этим связующим.

На текущий момент основные наполнители в полимерных материалах включают карбонат кальция (40%), стеклянное волокно (31%) и различные неорганические наполнители, такие как тальк, слюда, каолин и другие [1,36]. Применение этих высокоплотных наполнителей предоставляет возможность широко изменять свойства композитов. Тем не менее, с учетом объемов потребления, их использование может быть неэкономичным [37,38].

С точки зрения разработки изоляционных композиционных материалов на основе растительного сырья, одна из основных трудностей заключается в разработке связующего, совместимого с компонентами клеточных стенок растений на межфазном уровне. Кроме того, это связующее не должно

изменять химические и физические свойства наполнителя. Наконец, срок службы связующего должен быть как минимум идентичен сроку службы наполнителя и соответствовать строительным нормам с точки зрения гарантии работ.

На основании работ авторов [36-38] по получению изоляционного материала на основе волокнистой массы и ПВА следует отметить следующие характеристики: низкая плотность от 50 до 75 кг/м³ [38-40] и 69.2 кг/м³ [39.41], теплопроводность от 0.042 до 0.043 Вт/(м·°C) [40-42] и 0.051+0.002 Вт/(м·°C) [40], что соответствует как нормативным требованиям, так и требованиям окружающей среды. При существующей классификации такие материалы относятся к классу материалов с низкой теплопроводностью (менее 0,06 Вт/м·°C), огнестойкий материал; предел гигроскопичности полученных плит близок к аналогичному значению индикатора натуральной древесины.

Казеиновый клей – издавна использовался столярами, а также на заре воздухоплавания, пока в 1925-1930 гг. его не вытеснили мочевино-формальдегидные клеи. Казеиновый клей, исключительные свойства которого сегодня открываются заново, позволяет склеивать древесину и все ее производные, пробку и такие напольные покрытия, как морской камыш или натуральный линолеум. Этот клей прост в изготовлении и применении, гарантированно не содержит растворителей, экологически безопасен и экономичен [43].

Исключительно липкие свойства солубилизованного казеина известны еще со времен Средневековья. Плотники изготавливали из него знаменитый "сырный клей". Совсем недавно казеиновый клей использовался для изготовления первых клееных рам и даже для склеивания деревянных деталей самолетов и дирижаблей. Сегодня озабоченность проблемой загрязнения окружающей среды и быта вновь вызывает интерес к

проверенным техническим свойствам этого древнего клея [44].

Казеин используется в качестве связующего в красках. На предприятиях по производству бутылок он используется для поточной этикетировки стеклянных бутылок [45].

Согласно работе Себастьяна Жоаннеса [46], казеин получил свое название от латинского "caseus", что означает сыр: с древних времен мастера использовали свернувшееся молоко, смешанное с негашеной известью, для склеивания древесины. С получением казеина в конце XIX века человек смог перейти от эмпирического склеивания к науке о склеивании. Промышленное производство клея на основе казеина вскоре расширилось, и во время Первой мировой войны немцы использовали его для сборки всех деревянных деталей аэропланов и дирижаблей. Эффективность клееных узлов самолетов во время Первой мировой войны показала путь для всей строительной индустрии.

Ряд клеев природного происхождения был известен с древнейших времен и использовался для: склеивания декоративных элементов (маркетри); изготовления мебели; сборки музыкальных инструментов. В основном это были крахмал, кровь или коллаген, получаемые из костей, нервов и шкур животных. Позже стали использовать молочные белки (казеиновые клеи) и экстракты рыбьей кожи. Растительные белки (соевые бобы) стали использоваться значительно позже. Казеиновые клеи (молочные фосфопротеины) в холодном виде используются в авиа- и судостроении, а с добавлением антисептика в рецептуру - при изготовлении клееного бруса для внутренних работ. Горячие же казеиновые клеи используются только при производстве фанеры, тары и днищ сидений. Следует отметить, что механические свойства натуральных клеев хорошие [47].

Синтетические смолы на нефтяной основе всегда будут доминировать в клеевой промышленности благодаря своей низкой стоимости и отличным эксплуатационным характеристикам. Однако, в условиях растущей

обеспокоенности по поводу загрязнения окружающей среды, здоровья людей и утилизации инертных отходов в связи с использованием или производством синтетических клеевых полимеров, экологически чистые полимеры на биологической основе и возобновляемые полимеры по-прежнему имеют хорошие возможности для применения [48], например, в бумажном клее для офисного/школьного/домашнего использования или в пищевой упаковке, клеях для дерева и клеях на биологической основе, где безопасность и другие факторы более важны, чем стоимость. В результате молочные белки или другие клеи на основе природных полимеров займут свою нишу на рынке [49].

Таким образом, растительное сырьё, модифицированные раствором моноэтаноламин($N \rightarrow B$)-тригидроксидбората, при условии его совместимости с полимерными связующими может стать основой для создания биостойкого теплоизоляционного композиционного материала. Его использование будет способствовать снижению стоимости конечного продукта, позволит экономить ресурсы и улучшить экологическую обстановку в агробиоценозах

Выводы

На основании изучения научных исследований можно сделать следующие выводы. В исследовании рассматривали характеристики различных изоляционных и полимерных материалов, подчеркивая их эксплуатационные, экологические и технологические особенности. Пенополиуретан, пенополистирол и другие распространенные материалы выделяют токсичные вещества с кумулятивными свойствами, что ограничивает их применение. В этом контексте пеностекло выделяется как экологически безопасный и технологичный материал с отличными тепловыми и механическими свойствами, однако его производство требует оптимизации для снижения затрат.

С начала 20-го века активно разрабатываются полимерные материалы, прежде всего термопласты и термореактивные смолы, для улучшения комфорта и функциональности в повседневной жизни. Термопласты, такие как ПВХ, ПЭ и ПП, обладают возможностью переработки и хорошими механическими свойствами, но требуют высоких температур и вязкости при обработке. Высокопроизводительные термопласты, такие, как PEEK и PPS, обеспечивают лучшую термостойкость, но также требуют значительных затрат. Термореактивные матрицы, напротив, формируются однократно и обладают высокой жесткостью и химической стойкостью, но являются источником выбросов токсичных веществ, таких как формальдегид, представляющих риск для здоровья человека.

Особое внимание уделяется разработке экологически чистых клеевых смол и матриц, таких как полиуретан из касторового масла, которые обладают хорошей адгезией и механическими свойствами и могут служить альтернативой токсичным синтетическим клеям на основе формальдегида. Биологические клеи, включая казеиновый клей, также рассматриваются как перспективные материалы благодаря их экологической безопасности и проверенным техническим характеристикам, особенно в условиях нарастающей озабоченности экологическими проблемами и влиянием на здоровье.

В результате исследования подчеркивается важность перехода на возобновляемые и нетоксичные материалы, которые способны удовлетворить текущие нормативные требования и потребности рынка, одновременно снижая воздействие на окружающую среду.

Литература

1. Андрианов К. А. Прогнозирование долговечности (работоспособности) пенополистирола в ограждающих конструкциях зданий.



дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05. Пенз. гос. архитектур.-строит. акад.. Пенза, 2002. 212 с.

2. Rutot D., Dubois P. Les (bio) polymeres biodegradables: l'enjeu de demain? // Chimie Nouvelle. 2004. №. 86. pp. 66-74.

3. Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010 //Progress in polymer science. 2012. T. 37. №. 11. pp. 1552-1596.

4. Zoghi M. (ed.). The international handbook of FRP composites in civil engineering. – Crc Press, 2013. 706p.

5. Bourban, P.-E., Carlsson, L., Mercier, J.-P. & Manson, J.-A.-E., Matériaux composites à matrice organique: constituants, procédés, propriétés. – PPUR presses polytechniques, 2004. T. 15. C-250.

6. Reyne M. Technologie des composites. – chez Hermes Science Publications (3ème édition), 1998. 220p.

7. Mohanty A. K., Misra M., Hinrichsen G. I. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview //Macromolecular materials and Engineering. 2000. T. 276. №. 1. pp. 1-24.

8. Dittenber D. B., GangaRao H. V. S. Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure // Composites Part A: applied science and manufacturing. 2012. T. 43. №. 8. pp. 1419-1429.

9. Ibeh C. C. Thermoplastic materials: properties, manufacturing methods, and applications. – CRC Press, 2011. - 640p.

10. Charmet J. C. Mécanique du solide et des matériaux Elasticité-Plasticité-Rupture//ESPCI-Laboratoire d'Hydrodynamique et Mécanique Physique. 2005. pp. 113-144.

11. Tucker N., Lindsey K. (ed.). An introduction to automotive composites. – iSmithers Rapra Publishing, 2002. 208p.

12. Combette P., Ernoult I. Physique des polymères: Propriétés mécaniques. – Presses inter Polytechnique, 2005. 284 p.
 13. Ashby M., Bréchet Y., Salvo L. Sélection des matériaux et des procédés de mise en œuvre. PPUR presses polytechniques, 2001. T. 20. 498 p.
 14. Collins J. J., Lineker G. A. A review and meta-analysis of formaldehyde exposure and leukemia //Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2004. T. 40. №. 2. C. 81-91.
 15. IARC W. H. O. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 88, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan. T. 2. 2006. pp. 39-325.
 16. Raquez, J. M., Deléglise, M., Lacrampe, M. F., & Krawczak, P. Thermosetting (bio) materials derived from renewable resources: A critical review //Progress in polymer science. 2010. T. 35. №. 4. pp. 487-509.
 17. Tondi G. et al. Starch-sugar synergy in wood adhesion science: basic studies and particleboard production //European Journal of Wood and Wood Products. 2012. T. 70. №. 1-3. pp. 271-278.
 18. Roffael E., Dix B., Okum J. Use of spruce tannin as a binder in particleboards and medium density fiberboards (MDF) //Holz als Roh-und Werkstoff. 2000. T. 58. №. 5. pp. 0301-0305.
 19. Pereira, P. H. F., Rosa, M. D. F., Cioffi, M. O. H., Benini, K. C. C. D. C., Milanese, A. C., Voorwald, H. J. C., & Mulinari, D. R. Vegetal fibers in polymeric composites: a review //Polímeros. 2015. T. 25. pp. 9-22.
 20. Chahud E. et al. Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de madeira a partir de resíduos de podas de árvores urbanas //Revista de Cultura e Extensão USP. 2012. T. 8. pp. 109-122.
 21. Cravo J. C. M. Painéis de partículas de saco de cimento e embalagem longa vida aplicados como forro em protótipos de aviários : дис. – Universidade de São Paulo, 2016. 162с.
-



22. Merlini C., Soldi V., Barra G. M. O. Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites //Polymer Testing. 2011. T. 30. №. 8. pp. 833-840.
23. Mosiewicki M. A. et al. Polyurethane foams obtained from castor oil-based polyol and filled with wood flour //Journal of composite materials. – 2009. – T. 43. №. 25. pp. 3057-3072.
24. Hojabri L., Kong X., Narine S. S. Fatty acid-derived diisocyanate and biobased polyurethane produced from vegetable oil: synthesis, polymerization, and characterization //Biomacromolecules. 2009. T. 10. №. 4. pp. 884-891.
25. Coutinho F., Delpéch M. C. Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície //Polímeros. 1999. T. 9. pp. 41-48.
26. Silva R. V. et al. Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites //Composites science and technology. 2006. T. 66. №. 10. pp. 1328-1335.
27. Mothé C., de Araujo C., Wang S. Thermal and mechanical characteristics of polyurethane/curaua fiber composites //Journal of thermal analysis and calorimetry. 2009. T. 95. №. 1. pp. 181-185.
28. Pizzi A. Advanced wood adhesives technology. – CRC Press, 1994. 304с.
29. Kurimoto Y. et al. Mechanical properties of polyurethane films prepared from liquefied wood with polymeric MDI //Bioresource technology. 2000. T. 74. №. 2. pp. 151-157.
30. Frazier C. E., Ni J. On the occurrence of network interpenetration in the wood-isocyanate adhesive interphase //International journal of adhesion and adhesives. 1998. T. 18. №. 2. pp. 81-87.

31. Fiorelli J. et al. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product //Industrial Crops and Products. 2012. Т. 40. pp. 69-75.
 32. ANSI A208, (1999), American National Standards Institute. Particleboard., Washington, DC. 1999. 13p.
 33. La Mantia F. P., Morreale M. Green composites: A brief review //Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011. Т. 42. №. 6. pp. 579-588.
 34. Patel A. K., Mathias J. D., Michaud P. Polysaccharides as adhesives //Reviews of Adhesion and Adhesives. 2013. Т. 1. №. 3. pp. 312-345.
 35. Vazquez-Nunez E. et al. Green composites and their contribution toward sustainability: a review //Polymers and Polymer Composites. 2021. Т. 29. №. 9_suppl. pp. S1588-S1608.
 36. Бакирова И. Н., Зенитова Л. А. Газонаполненные полимеры: Учебное пособие //Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та. 2009. 105с.
 37. Берлин А. А., Басин В. Е. Основы адгезии полимеров. 1969. 319с.
 38. Ермолина, А. В. Технология получения теплоизоляционных древесных плит: диссертация канд. техн.наук: 05.21.05: защищена 16.03.12. А. В. Ермолина; СибГТУ. Красноярск, 2012. 152 с.
 39. Ермолина А.В., Миронов П.В., Бывшев А.В. Получение теплоизоляционного плитного материала на основе древесного волокна // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. трудов по итогам междунар. науч.техн. конф. Вып. 25. Брянск, 2010. С. 186–189.
 40. Миронов П. В., Ермолина А. В. Теплоизоляционный материал на основе древесноволокнистых продуктов // Химия растительного сырья. 2011. №3. С. 197-200.
 41. Миронов П. В., Ермолина А. В. Теплоизоляционные материалы: поропласты на основе синтетического связующего и волокнистых продуктов
-

переработки древесины //Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. №. 24. С. 120-123.

42. Салдаев В. А. Создание древесно-полимерного теплоизоляционного материала : дис. Казан. нац. исслед. технол. ун-т., Казань, 2017. 187с.

43. Bourmaud A., Morvan C., Baley C. Importance of fiber preparation to optimize the surface and mechanical properties of unitary flax fiber //Industrial Crops and Products. 2010. Т. 32. №. 3. pp. 662-667.

44. Génin G. La préparation d'une caséine de faible viscosité //Le Lait. – 1965. Т. 45. №. 443-444. pp. 173-178.

45. Génin G. Les peintures a l'oléo-caséine et leur emploi dans la signalisation routière //Le Lait. 1957. Т. 37. №. 361-362. pp. 32-40.

46. Joannès S. Caractérisation mécanique et outil d'aide au dimensionnement des collages structuraux //Science et génie des matériaux, École Nationale Supérieure des Mines de Paris. 2007. Т. 1. 230 p.

47. Trouy-triboulot M., Masson D. Matériaux dérivés du bois //Tech. De L'ingénieur. – 2017. Т. 33. pp. 1-23.

48. Packham D. E. Adhesive technology and sustainability //International journal of adhesion and adhesives. 2009. Т. 29. №. 3. pp. 248-252.

49. Metzger J. O., Eissen M. Concepts on the contribution of chemistry to a sustainable development. Renewable raw materials //Comptes Rendus Chimie. – 2004. Т. 7. №. 6-7. pp. 569-581.

References

1. Andrianov K. A. Prognozirovaniye dolgovechnosti (rabotosposobnosti) penopolistirola v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy [Prediction of durability (serviceability) of expanded polystyrene in building envelopes]. dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.05. Penz. gos. arkhitektur.-stroit. akad.. Penza, 2002. 212 p.

2. Rutot D., Dubois P. Chimie Nouvelle. 2004. №. 86. Pp. 66-74.

3. Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. Progress in polymer science. 2012. Vol. 37. №. 11. Pp. 1552-1596.

4. Zoghi M. (ed.). The international handbook of FRP composites in civil engineering. Crc Press, 2013. 706p.

5. Bourban, P.-E., Carlsson, L., Mercier, J.-P. & Manson, J.-A.-E.,. Matériaux composites à matrice organique: constituants, procédés, propriétés. – PPUR presses polytechniques. 2004. Vol. 15. 250p.

6. Reyne M. Technologie des composites.– chez Hermes Science Publications (3ème édition). 1998. 220p.

7. Mohanty A. K., Misra M., Hinrichsen G. I. Macromolecular materials and Engineering. 2000. Vol. 276. №. 1. Pp. 1-24.

8. Dittenber D. B., GangaRao H. V. S. Composites Part A: applied science and manufacturing. 2012. Vol. 43. №. 8. Pp. 1419-1429.

9. Ibeh C. C. Thermoplastic materials: properties, manufacturing methods, and applications. CRC Press, 2011. 640p.

10. Charmet J. C. ESPCI-Laboratoire d'Hydrodynamique et Mécanique Physique. 2005. Pp. 113-144.

11. Tucker N., Lindsey K. (ed.). An introduction to automotive composites. iSmithers Rapra Publishing. 2002. 208p.

12. Combette P., Ernoult I. Physique des polymères: Propriétés mécaniques. Presses inter Polytechnique. 2005. 284p.

13. Ashby M., Bréchet Y., Salvo L. Sélection des matériaux et des procédés de mise en œuvre. PPUR presses polytechniques, 2001. Vol. 20. 498p.

14. Collins J. J., Lineker G. A. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2004. Vol. 40. №. 2. Pp. 81-91.

15. IARC W. H. O. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 88, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan. Vol.2 2006. Pp39-325.



16. Raquez, J. M., Deléglise, M., Lacrampe, M. F., & Krawczak, P. Progress in polymer science. 2010. Vol. 35. №. 4. Pp. 487-509.
 17. Tondi G. et al. European Journal of Wood and Wood Products. 2012. Vol. 70. №. 1-3. Pp. 271-278.
 18. Roffael E., Dix B., Okum J. Holz als Roh-und Werkstoff. 2000. Vol. 58. №. 5. Pp. 0301-0305.
 19. Pereira, P. H. F., Rosa, M. D. F., Cioffi, M. O. H., Benini, K. C. C. D. C., Milanese, A. C., Voorwald, H. J. C., & Mulinari, D. R. Polímeros. 2015. Vol. 25. Pp. 9-22.
 20. Chahud E. et al. Revista de Cultura e Extensão USP. 2012. Vol. 8. Pp. 109-122.
 21. Cravo J. C. M. Painéis de partículas de saco de cimento e embalagem longa vida aplicados como forro em protótipos de aviários : Dis. Universidade de São Paulo, 2016. 162p.
 22. Merlini C., Soldi V., Barra G. M. O. Polymer Testing. 2011. Vol. 30. №. 8. Pp. 833-840.
 23. Mosiewicki M. A. et al. Journal of composite materials. 2009. Vol. 43. №. 25. Pp. 3057-3072.
 24. Hojabri L., Kong X., Narine S. S. Fatty Biomacromolecules. 2009. Vol. 10. №. 4. Pp. 884-891.
 25. Coutinho F., Delpech M. C. Polímeros. 1999. Vol. 9. Pp. 41-48.
 26. Silva R. V. et al. Composites science and technology. 2006. Vol. 66. №. 10. Pp. 1328-1335.
 27. Mothé C., de Araujo C., Wang S. Journal of thermal analysis and calorimetry. 2009. Vol. 95. №. 1. Pp. 181-185.
 28. Pizzi A. Advanced wood adhesives technology. CRC Press, 1994. 304p.
-

29. Kurimoto Y. et al. *Bioresource technology*. 2000. Vol. 74. №. 2. Pp. 151-157.
 30. Frazier C. E., Ni J. *International journal of adhesion and adhesives*. 1998. Vol. 18. №. 2. Hp. 81-87.
 31. Fiorelli J. et al. *Industrial Crops and Products*. 2012. Vol. 40. Pp. 69-75.
 32. ANSI A208, (1999), American National Standards Institute. *Particleboard.*, Washington, DC. 1999. 13p.
 33. La Mantia F. P., Morreale M. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2011. Vol. 42. №. 6. Pp. 579-588.
 34. Patel A. K., Mathias J. D., Michaud P. *Reviews of Adhesion and Adhesives*. 2013. Vol. 1. №. 3. Pp. 312-345.
 35. Vazquez-Nunez E. et al. *Polymers and Polymer Composites*. 2021. Vol. 29. №. 9_suppl. Pp. S1588-S1608.
 36. Bakirova I. N., Zenitova L. A. *Gazonapolnennyye polimery: Uchebnoye posobiye [Gas-filled polymers]: Uchebnoye posobiye*. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhnol. un-ta, 2009. 105p.
 37. Berlin A. A., Basin V. Ye. *Osnovy adgezii polimerov [Fundamentals of polymer adhesion]*. 1969. 319p.
 38. Yermolina, A. V. *Tekhnologiya polucheniya teploizolyatsionnykh drevesnykh plit [Technology of production of heat-insulating wood boards]*. Dissertatsiya kand. tekhn.nauk: 05.21.05. Zashchishchena 16.03.12 A. V. Yermolina; SibGTU. Krasnoyarsk, 2012. 152p.
 39. Yermolina A.V., Mironov P.V., Byvshev A.V. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa : sb. nauch. trudov po itogam mezhdunar. nauch.tekhn. konf. Vyp. 25*. Bryansk, 2010. Pp. 186–189.
 40. A.V. Yermolina Mironov P.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2011. N°3. Pp. 197-200.
-



41. Mironov P. V., Yermolina A. V. Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa. 2009. №. 24. Pp. 120-123.
42. Saldayev V. A. Sozdaniye drevesno-polimernogo teploizolyatsionnogo materiala [Creation of wood-polymer thermal insulation material]. Dis. Kazan. nats. issled. tekhnol. un-t, 2017. 187p.
43. Bourmaud A., Morvan C., Baley C. Industrial Crops and Products. 2010. Vol. 32. №. 3. Pp. 662-667.
44. Génin G. Le Lait. 1965. Vol. 45. №. 443-444. Pp. 173-178.
45. Génin G. Le Lait. 1957. Vol. 37. №. 361-362. Pp. 32-40.
46. Joannès S. Caractérisation mécanique et outil d'aide au dimensionnement des collages structuraux. Science et génie des matériaux, École Nationale Supérieure des Mines de Paris., 2007. . Vol. 1. 230p.
47. Trouy-triboulot M., Masson D. Tech. De L'ingénieur. 2017. T. 33. Pp. 1-23.
48. Packham D. E. A. International journal of adhesion and adhesives. 2009. Vol. 29. №. 3. Pp. 248-252.
49. Metzger J. O., Eissen M. Concepts on the contribution of chemistry to a sustainable development. Renewable raw materials. Comptes Rendus Chimie. 2004. Vol. 7. №. 6-7. P. 569-581.

Дата поступления: 21.10.2024

Дата публикации: 5.12.2024