УДК 674.8:620

ПРИМЕНЕНИЕ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: tamara-tns@yandex.ru

Планы развития сети железных дорог связаны с их строительством в малонаселенных районах с суровыми климатическими условиями, где укладка железобетонных шпал нецелесообразна или даже невозможна. А деревянные шпалы из-за интенсивного выхода потребуют больших эксплуатационных затрат, поэтому для развития железных дорог на северо-востоке страны потребуется использовать более долговечные малообслуживаемые шпалы, к которым относятся композиционные шпалы, полученные на основе продуктов деревопереработки и полимерного связующего. Предлагаются шпалы, например, из древесного стекловолокнистого композиционного материала, который на семьдесят процентов состоит из компонентов, которые могут быть получены на основе отходов лесного комплекса и деревообрабатывающих производств.

Ключевые слова: древесина, композиционный материал, отходы деревообработки, шпалы

APPLICATION OF OF WOOD COMPOSITES IN TRANSPORT CONSTRUCTION

Storodubtseva T.N., Aksomitny A.A.

Federal State Budget Educational Institution of High Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, e-mail: tamara-tns@yandex.ru

Plans for development of the railway network are related to their construction in sparsely populated areas with severe climatic conditions, where the laying of concrete sleepers is impractical or even impossible. A wooden sleepers because of the intense output require large maintenance costs, so for the development of railways in the north-east of the country will need to use a little more durable serviced sleepers, which include composite sleepers, derived timber products and polymeric binder. Televisions sleepers, for example, from wood fiber glass composite material which is seventy percent of the components that may be derived from wood waste and wood industries complex.

Keywords: wood, composite material, waste wood, railway sleepers

Одним из направлений применения древесины и древесных композитов в транспортном строительстве являются автомобильные и железные дороги. Важным фактором, определяющим перспективность разработки шпал новых конструкций, является крайне неравномерное развитие железных дорог на территории России. Так, в Российской Федерации в семи субъектах нет железных дорог вообще, а в девяти – сеть железных дорог слабо развита, в результате чего средняя плотность железнодорожной сети составляет 5 км на 1000 км^2 площади, в то время как в Канаде, имеющей сходные природно-климатические условия, эта цифра составляет 6,7 км (на 35% больше), в США – 27,7 км (в 5,5 раз больше), а в странах Западной Европы и Японии превышение еще больше.

Свидетельством повышенного интереса к проблеме расширения сети железных дорог является принятие масштабной государственной программы «Стратегии развития железнодорожного транспорта» Российской Федерации до 2030 г. На период до 2030 года и в перспективе после 2030 года планируется расширение сети железных дорог преимущественно в малонаселенных районах с суровыми климатическими условиями [6].

Учитывая то обстоятельство, что планы развития сети железных дорог связаны с их строительством в малонаселенных районах с суровыми климатическими условиями, где укладка железобетонных шпал нецелесообразна или даже невозможна, а деревянные шпалы из-за интенсивного выхода потребуют больших эксплуатационных затрат, можно предположить, что для развития железных дорог на северо-востоке страны потребуется использовать более долговечные малообслуживаемые шпалы, к которым относятся композиционные шпалы, полученные на основе продуктов деревопереработки и полимерного связующего [1].

Железнодорожный транспорт, в том числе и лесовозный, при крайне медленном строительстве на территории России автомобильных дорог, в ближайшие десятилетия останется основным средством грузоперевозок.

Интенсивная замена деревянных шпал на железобетонные ведет к большим, но, как правило, не учитываемым, в условиях так называемых «рыночных отношений», экономическим потерям. Они складываются из физико-технических и механических недостатков железобетона – большой массы, электропроводности, хрупкости,

ограниченной коррозионной стойкости и, главное, жесткости, приводящей к износу рельсов и бандажей колесных пар подвижного состава. И все же, при отсутствии учета этих потерь службами пути железных дорог, складывается ситуация, когда начальная стоимость железобетонной шпалы оказывается ниже, чем стоимость шпалы из новых композиционных материалов, например, древесного стекловолокнистого композиционного материала, лишенного вышеназванных недостатков [1]. Древесный стекловолокнистый композиционный материал более чем на 70% состоит из компонентов, которые могут быть получены на основе отходов лесного комплекса и деревообрабатывающих производств или являются таковыми – это фурфуролацетоновая смола ФАМ (связующее полимерной матрицы), а также древесная щепа, срезы хлыстов и т.п. (армирующие заполнители).

К настоящему времени уже получены составы и механические характеристики древесного стекловолокнистого композиционного материала, армированного, например, щепой с длиной элементов 150…200 мм или каркасом из необработанных досок, получаемых из отходов шпалопиления. Однако длительные эксплуатационные испытания шпал показали, что одной из возможных причин появления трещин на их поверхностях может являться влага, диффузионно проникающая через слой полимерной матрицы к предварительно высушенному древесному армирующему заполнителю, склонному к разбуханию, а также температура, усадочные процессы и их сочетания.

В связи с изложенным представлялось важным изучить влияние различных физических факторов на полимерную матрицу из стекловолокнистого композиционного материала, древесный заполнитель и, в целом, на древесный стекловолокнистый композиционный материал с учетом анизотропии их свойств [2].

Верхнее строение железнодорожного пути служит для направления движения подвижного состава, восприятия силовых воздействий от его колес и передачи их на нижнее строение пути. Рельсы, соединенные со шпалами, образуют рельсошпальную решетку. При этом шпалы заглубляются в балластный слой, укладываемый на основную площадку земляного полотна. Верхнее строение пути наземных участков, кроме того, подвергается воздействию солнца, дождя, снега, ветра, мороза.

В инженерных конструкциях, как правило, стремятся к тому, чтобы нагрузки на них вызывали только упругие деформации, то есть, чтобы после прекращения действия нагрузок конструкция возвращалась к прежнему виду и размерам. Особенностью верхнего строения пути является то, что основные элементы его работают с небольшой перегрузкой, вследствие чего в них медленно возникают остаточные деформации. Таким образом, верхнее строение пути работает в весьма сложных условиях, поэтому требует неослабного контроля за его состоянием, четкой организации текущего содержания и своевременного ремонта пути.

Материал для композиционных шпал должен обеспечивать компромисс между жестким (на железобетонных шпалах) и мягким (на деревянных шпалах) режимами движения подвижного состава. В настоящее время в достаточной мере проработаны положения общей теории математического моделирования, созданы теоретические основы общей методологии моделирования КМ. Таким образом, оптимальные свойства такого материала могут быть установлены решением оптимизационной задачи при рассмотрении системы «земляное полотно – балластная призма – шпала – рельс – подвижной состав».

Найдут применение и отходы химической промышленности – пиритовые огарки, которые могут быть переработаны в муку – прекрасный наполнитель, улучшающий прочностные и гидрофобные характеристики полимерных композитов, а также отработанное машинное масло и дивинилстирольный термоэластопласт – побочный продукт производства каучука, перспективное модифицирующее средство – раствор глиоксаля.

Спроектированы составы древесного стекловолокнистого композиционного материала для железнодорожных шпал, расчет которых был основан на обеспечении прочности и жесткости при различных видах механических нагрузок – кратковременных, длительно действующих и динамических, остался малоизученным и неучтенным в нем целый ряд физических воздействий – усадка, набухание под действием воды и их сочетания [5]. Сложным и совершенно не изученным являются напряженное и деформированное состояния в окрестности произвольной точки объема элемента конструкции из древесного стекловолокнистого композиционного материала, возникающие в нем под действием вышеназванных факторов.

В базовом составе древесного стекловолокнистого композиционного материала для железнодорожных шпал общего назначения в качестве армирующего заполнителя используются кусковые отходы переработки древесины. Однако для брусьев стрелочных переводов длиной более пяти метров прочность при изгибе этого вида древесно-

го стекловолокнистого композита оказывается недостаточной.

Для увеличения характеристик изгиба предлагается применять армирующие каркасы из древесины любых пород. Прокладки выполняют в деревянном каркасе ту же роль, что наклонная стальная арматура в железобетонных элементах, т.е. они должны препятствовать возникновению трещин в направлении главных растягивающих напряжений, возникающих в элементах конструкций из древесного стекловолокнистого композиционного материала под действием технологических и эксплуатационных факторов [7].

В связи с этим, были проведены экспериментальные исследования по определению упругих характеристик древесины некоторых лиственных и хвойных пород с учетом анизотропии ее свойств, а также на статический изгиб. Были определены пределы прочности (σ, МПа) древесины на сжатие вдоль и поперек волокон. По полученным результатам с использованием ПЭВМ были построены графики зависимости пределов прочности от влажности образцов (число образцов в серии равнялось двадцати – каждой породы древесины сосны, ели, лиственницы, березы, дуба). Кроме влажности, на показатели механических свойств древесины оказывает влияние и продолжительность действия нагрузок [5, 7]. В 84% случаев относительная погрешность предсказания значений **Y** математическими моделями не превышает 0,5, а в 97% случаев – 1%, что характеризует высокую предсказательную способность полученных математических моделей.

Таким образом, в качестве одной из основных задач исследований, явился анализ состояний в кубе из древесного стекловолокнистого композиционного материала под действием усадки и набухания при всестороннем увлажнении и, в особенности, стесненного набухания древесного заполнителя, в который диффузионно при адсорбции из полимера проникает вода [1].

Были сделаны расчеты, которые показали, что наибольшее главное напряжение, равное 10,13 МПа, меньше, чем предел прочности стекловолокнистого композиционного материала при растяжении – 19 МПа, но несколько выше предела пропорциональности – 9,7 МПа. И наибольшую опасность представляет собой величина главной относительной деформации по направлению между осями «t»–«r», равная 10×10^{-3}, которая превышает даже максимальные относительные деформации при трещинообразовании, равное $6{,}6\times\times10^{-3}$, т.е. действие воды ухудшило напряженное и деформированное состояние внутри куба из полимерного композиционного материала [4].

По результатам вычислений были созданы компьютерно-имитационные модели возникающих напряжений и деформаций. Наибольшие напряжения и деформации возникают в тангенциальном направлении.

Напряжения, возникающие вследствие разбухания древесного наполнителя, воздействуют на полимерную оболочку стекловолокнистого композиционного материала, а полимерная оболочка – на наполнитель.

Таким образом, максимальное напряжение, возникающее при таком взаимодействии составляет 14,37 МПа, а деформация не превышает 0,0264 мм.

Изложенные результаты позволили изменить состав древесного стекловолокнистого композиционного материала, повысив его предельную растяжимость и гидрофобность; разработать специальную защиту поверхности полимерной оболочки от проникновения воды к древесному заполнителю, а также защиту от нее самой древесины, предохраняя ее тем самым от набухания и гниения [4].

Общие причины несовместимости отвержденных минеральных вяжущих и древесины состоят в том, что эти материалы склонны насыщаться водой, которая может вызвать гниение древесины, инициировать выделение ею веществ (сахара), способных ингибировать процесс отверждения, а также разрушить любую матрицу под действием вызванного ею давления стесненного набухания.

В соответствии с ГОСТ 16483.20-72 нами были проведены испытания по определению водопоглощения образцов древесины хвойных и лиственных пород, выдержанных в воде в течение 90 дней. Часть образцов была обработана низкомолекулярным полиэтиленом и составом, полученным из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) (отходов пластиковых бутылок). Необходимо отметить, что водопоглощение лиственных пород ниже, чем у хвойных, что следует из результатов экспериментальных данных.

На основе результатов эксперимента при помощи программы Statistica 8.0 были найдены модели для некоторых кривых графика зависимости «время – водопоглощение», позволяющие определить любое значение водопоглощения в любой момент времени для участка наших испытаний (степень полинома – 3). Все коэффициенты моделей статистически значимы, определена значимость коэффициентов этих моделей и построены регрессионные кривые.

Для увеличения характеристик изгиба предлагается применять армирующие каркасы из древесины любых пород в виде досок из тонкомера, горбыля и т.п. Следует отме-

тить, что ни ширина, ни длина досок не имеет существенного значения, т.к. каркас может быть изготовлен составным, а обрезки досок могут быть поколоты на щепу с длиной элементов 150…200 мм. Доски каркаса, поставленные «на ребро», могут иметь обзолы, т.к. эстетический вид его не имеет значения.

Одним из наиболее экономичных вариантов налаживания серийного выпуска шпал и брусьев из древесного стекловолокнистого композиционного материала является использование оборудования и пустующих площадей существующих шпалорезных цехов и заводов. Надо отметить, что переработка горбылей и шпальной вырезки с целью повышения их товарной стоимости остается непременным условием эффективного функционирования данных предприятий [1, 4].

По сути дела нет необходимости ничего менять в узлах переработки древесины, имеющихся в этих цехах. Например, горбыли или шпальная вырезка, отторцованные на станке ЦКБ-40 (или ЦПА-40, ЦМЭ-40, ЦМЭ-3А и т.д.), поступают на многопильный обрезной станок Ц2Д-7 (или Ц2Д-5А, ЦМР-1, ЦМР-3, ЦДК-5, ЦР-4А и т.д.), где из них выпиливается трехконтактный брусок шириной, равной, например, ширине доски каркаса (70…80 мм). Здесь же бруски переворачиваются на ребро и распиливаются на доски толщиной 20…25 мм в зависимости от вида шпал. Полученные при этом узкие доски окончательно обрезаются до необходимой длины на торцовочных станках, перечисленных выше, и поступают на узел сборки каркасов [5].

Таким образом, при отсутствии шпальника, а это, очевидно, ближайшая перспектива, т.к. деревьев в возрасте 80…100 лет становится все меньше в доступных районах лесозаготовок. Шпалорезные цеха могли бы полностью перейти на заготовку каркасов и отливку непосредственно шпал, что гарантировало бы их от закрытия как убыточных, что уже случилось с заводами по производству фурфурола, поскольку он также оказался невостребованным.

Так были рассмотрены достоинства и недостатки возможных компонентов полимерной матрицы стекловолокнистого композиционного материала и древесного стекловолокнистого композиционного материала с позиций включения их в ее состав с целью повышения водостойкости, предельной растяжимости, прочности и экологической безопасности.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, изложенные в настоящей статье, вносят существенный вклад в решение проблемы замены на древесный стекловолокнистый композиционный материал традиционных материалов – древесины и железобетона в железнодорожных шпалах различного назначения [1]. Его внедрение должно помочь сохранить лес, использовать огромное количество отходов лесного комплекса и деревообрабатывающих производств, улучшить экологическую обстановку и создать новые рабочие места.

Таким образом, оптимальное значение массы композиционной шпалы, установленное из условия ее работы в железнодорожном пути, составляет 146–153 кг, а значение модуля упругости в продольном направлении – 6200–7600 МПа, в поперечном – не менее 1000 МПа.

Положительная роль экологических и социальных аспектов налаживания производства изделий из древесного стекловолокнистого КМ заключается в том, что его использование в широких масштабах позволит найти применение огромным количествам отходов сельского хозяйства, лесного комплекса и лесоперерабатывающей промышленности в виде сырья для производства фурфурола, смолы ФАМ и армирующего заполнителя [1]. Найдут применение и отходы химической промышленности – пиритовые огарки, которые могут быть переработаны в муку – прекрасный наполнитель, улучшающий прочностные и гидрофобные характеристики полимерных композитов, а также отработанное машинное масло и дивинилстирольный термоэластопласт – побочный продукт производства каучука.

Список литературы

1. Стородубцева Т.Н. Строительные древесностекловолокнистые композиционные материалы для изделий специального назначения: Автореф. дис. д-ра. техн. наук. – Воронеж, 2005. – 42 с.

2. Стородубцева Т.Н. Упругие характеристики древесины сосны – армирующего заполнителя композиционных материалов на основе полимерного и цементного связующего / Т.Н. Стородубцева, В.И. Харчевников // Изв. вузов. Лесн. журн.– 2002. – № 6.– С. 52–59.

3. Стородубцева Т.Н. Моделирование напряженного состояния древесины, подверженной действию агрессивных сред в композиционном материале / Фундаментальные исследования, № 4 (часть 1), 2013. – С. 65–70.

4. Стородубцева Т.Н. Композиционный материал на основе древесины для железнодорожных шпал: Трещиностойкость под действием физических факторов: монография; ВГУ. – Воронеж, 2002. – 216 с.

5. Стородубцева Т.Н. Обоснование возможности использования полимербетона ФАМ на андезите с различными видами армирования в качестве конструкционного материала железнодорожных шпал / Т.Н. Стородубцева, О.П. Плужникова. – Деп. ВНИИНТПИ, М., 1992. – вып. 1. – 18 с.

6. Якунин В.И. Стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 г. // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 12. – С. 2–6.

7. Storodubtseva T.N. Industrial wastes-based composite with prescribed qualities / European applied sciences=Europaische fachhochschule. – 2013. – № 5, vol. 2. – P. 34–37.