

СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ «DS-1»

Карев Б. Н., Чернышев Д. О., Чернышев О. Н.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия (620100, Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), e-mail: den_is-best@mail.ru

В статье рассматривается создание инновационного композиционного материала специального назначения на основе древесины «DS-1», обладающего рентгенозащитными свойствами. Данный материал по физико-механическим показателям превосходит существующие аналоги. Дано оптимальное соотношение составляющих ингредиентов для получения композиционного материала плиты «DS-1». Приводятся практические исследования для определения толщины плиты «DS-1», которая понижает интенсивность рентгеновского излучения с начальной величины I_0 до величины $I_T(I_0 > I_T)$. Экспериментальный анализ позволил сделать вывод, что «DS-1» может быть использован для защиты от рентгеновского излучения и может быть использован в качестве замены свинца, где особый интерес представляет формула, которая позволит определять необходимую толщину T_{DS} листа «DS-1», позволяющую заменить лист свинца толщиной T_C .

Ключевые слова: композиционный материал, специальное назначение, древесина, рентгеновские лучи, защита.

CREATION OF THE INNOVATIVE COMPOSITE MATERIAL OF THE SPECIAL PURPOSE ON THE BASIS OF WOOD «DS-1»

Karev B. N, Chernyshev D. O., Chernyshev O. N.

Urals state forestry engineering university, Yekaterinburg, Russia (620100, Yekaterinburg, Sibirskytrakt St., 37), e-mail: den_is-best@mail.ru

In article the creation of innovative wood based composite material «DS-1» is examined. This material possesses X-Ray protection properties and by the physical-mechanical properties exceeds the existing analogs. The optimal components ratio for the composite material obtainment - the plate «DS-1» is represented in the article. Practical researches for definition of a thickness of a plate «DS-1» which lowers intensity of x-ray radiation from initial size I_0 to size are resulted $I_T(I_0 > I_T)$. The experimental analysis has allowed to draw a conclusion that «DS-1» can be used for protection against x-ray radiation and can be used as lead replacement where the particular interest is represented by the formula which will allow to define a necessary thickness T_{DS} of sheet «DS-1», allowing to replace sheet of lead in the thickness T_C .

Keywords: composite material, special purpose, wood, X-rays, protection.

В настоящее время перед деревообрабатывающей промышленностью остро стоит вопрос поиска путей создания особого материала для средств защиты от различного рода излучений с использованием природных ресурсов, в частности малоценной древесины и отходов деревообработки. Эту задачу помогут разрешить древесные композиционные материалы. Одним из самых распространенных на Земле естественных композиционных материалов является древесина. Древесина – это легкий и в то же время прочный материал, который хорошо поддается механической обработке, обладает уникальным комплексом свойств [2].

Древесные композиционные материалы могут изготавливаться путем прессования, прокатывания, литья под давлением. Древесные композиты позволяют изготавливать любые элементы интерьера, архитектурный декор, полы, настенные облицовки, встроенное оборудование и т.д. Исследования и эксперименты по разработке технологий, поиску новых

связующих, способов формования, воздействия на конечные свойства композитов обуславливаются следующими причинами:

- ужесточение экологических и гигиенических требований во многих странах требуют создания материалов, безопасных для потребителей, не создающих проблем для окружающей среды при производстве и утилизации;
- рыночные отношения требуют разработку новых материалов с разнообразными качествами: не только технологических, но и сочетающих «натуральность» с современными технологиями, соответствующих представлению общества о взаимоотношении человека с природой [1,6,7].

Древесину в ее различных модификациях, как конструкционные основы, возможно использовать для создания композиционных материалов со специфическими свойствами для защиты от различного рода излучений: радиоволн, инфракрасного, оптического, ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучений. Защита от излучений нормируется нормами СанПиНа. Данные правила распространяются на проектирование, строительство, а также на разработку и производство рентгеновского медицинского оборудования и защитных средств [3].

Развитие и широкое применение источников ионизирующих излучений в различных областях науки и техники создали потенциальную угрозу радиационной опасности для человека и загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами [5].

Очень часто возникает вопрос о замене свинца каким-либо другим более экологически безопасным материалом. В настоящее время на отечественном рынке предлагается широкая гамма разнообразных материалов, способных выполнять роль защиты от излучений, в том числе и в качестве замены свинца [5].

В лабораториях УГЛТУ проводились научно-исследовательские поисковые и экспериментальные работы по разработке защитного материала на основе древесины, направленные на исключение вредного свинца и его производных из композиции. Разработанные конструкции композиционных материалов, согласно патентным исследованиям, не имеют аналогов в мире. Новый композиционный материал «DS-1» обладает рентгенозащитными свойствами (рис. 1).



Рис. 1. Композиционный материал «DS -1»

Созданный защитный композиционный материал «DS-1» представляет собой аналог уже существующих древесных плит, таких как ДСтП и МДФ. Разработанный материал имеет ряд преимуществ перед другими древесными материалами. Для его получения используется низкокачественная древесина, отходы деревообрабатывающих производств, а также опилки фракции менее 2 мм.

Для снижения токсичности плит было использовано новое связующее со значительным сокращением доли свободного формальдегида, одновременно с высокими показателями по техническим характеристикам. Производство плит с применением нового связующего компонента менее затратно, чем производство уже существующих плит.

Для получения защитных свойств от излучений в состав материала входит минеральный наполнитель сульфат бария ($BaSO_4$), который не является токсичным для организма веществом, в отличие от всех растворимых солей бария, и именно поэтому возможно его применение в качестве рентгенозащитного вещества. Присутствие данного наполнителя улучшает теплоизоляцию и огнестойкость материала.

При изготовлении плиты «DS-1» необходимо определить ее размеры, в частности ее толщину, чтобы после прохождения рентгеновских лучей через данную плиту, интенсивность рентгеновского излучения снизилась с начальной величины I_0 до величины I_T ($I_0 > I_T$), т.е. на величину $I_0 - I_T$.

Практические исследования показали, что полученное оптимальное соотношение составляющих ингредиентов при изготовлении плиты «DS-1» (табл. 1) позволило получить композиционный материал, который обладает высокими показателями, превосходящими характеристики уже существующих плит, в частности: более высокие показатели всех физико-механических свойств, полученный материал практически не токсичен (по уровню выделения свободного формальдегида соответствуют классу E0), экологически чистый; обладает хорошей теплоизоляцией; защищает от рентгеновского излучения; имеет наиболее высокую огнестойкость; легко обрабатывается; крепится как плиты ДСтП и МДФ.

Таблица 1. Ингредиенты материала «DS-1»

№п/п	Ингредиенты DS-1		
1	Наполнитель (опилки, фракция менее 2 мм)	опилки 1–2 мм	20 %
		опилки 0,25–1 мм	25 %
		древесная пыль	55 %
2	Барит ($BaSO_4$, порошок)		
3	Клей		

Как видно из таблицы 1, отходы деревообработки (опилки, древесная пыль) имеют разнородную структуру, которая существенно отличается от структуры древесины, поэтому величины коэффициента ослабления единицей массы древесины $\mu_m^{(д)}$ и рентгеновской плотности древесины $\rho_r^{(д)}$ могут существенно отличаться от величин $\mu_m^{(н)}$ (размерность $[см^2 / г]$) и $\rho_r^{(н)}$ наполнителя (опилки, древесная пыль). В научной литературе данные о величине коэффициента ослабления единицей массы наполнителя $\mu_m^{(н)}$ и рентгеновской плотности наполнителя $\rho_r^{(д)}$ отсутствуют. Однако в дальнейшем для определения толщины плиты «DS-1», которая понижает интенсивность рентгеновского излучения с начальной величины I_0 до величины I_T ($I_0 > I_T$), нам потребуется знать не величины $\mu_m^{(н)}$ и $\rho_r^{(н)}$, а величину их произведения, т.е. $\mu_m^{(н)} \times \rho_r^{(н)}$ [4].

Пусть на прессованную пластинку (наполнитель + клей), имеющую поперечное сечение $1 см^2$ и толщину T , падает пучок рентгеновских лучей интенсивности I_{10} , имеющий поперечное сечение $1 см^2$. Клей как связующее вещество, используемый при изготовлении «DS-1», практически не изменяет интенсивность проходящих через нее рентгеновских лучей. Поэтому будем считать, что после прохождения через прессованную пластинку рентгеновских лучей интенсивность излучения уменьшается массой наполнителя до величины I_{1T} [4].

Объем древесины в прессованной пластинке численно равен $0,75T$. Тогда на основании закона ослабления рентгеновских лучей можем записать:

$$I_{1T} = I_{10} \exp(-0,75\mu_m^{(н)}\rho_r^{(н)}T).$$

Логарифмируя последнее равенство по натуральному основанию, получим

$$\ln I_{1T} = \ln I_{10} - 0,75\mu_m^{(н)}\rho_r^{(н)}T.$$

Откуда получаем

$$\mu_m^{(н)} \times \rho_r^{(н)} = \frac{\ln\left(\frac{I_{1T}}{I_{10}}\right)}{0,75T}. \quad (1)$$

Таким образом, мы показали, что величина произведения $\mu_m^{(н)} \times \rho_r^{(н)}$ может быть получена экспериментально [4].

В дальнейшем мы будем рассматривать пластинку «DS-1» (рис.2 а). В общем случае пластинка может иметь несколько слоев (рис.2 б). Количество слоев в пластинке обычно определяется исходя из прочностных требований.

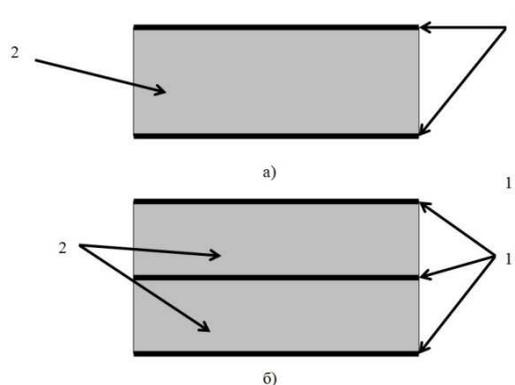


Рис 2. 1 – шпон; 2 – наполнитель с клеем и баритом

Рассмотрим некоторый объем, состоящий из различных веществ. Так как фотоэлектрическое поглощение рентгеновских лучей в веществе – процесс атомный и расчет величины ослабления интенсивности можно проводить, учитывая не толщину слоя, а количество вещества (его массу), находящегося в облучаемом объеме, то величина ослабления рентгеновских лучей одним из веществ, содержащимся в рассматриваемом объеме, не зависит от расположения частиц этого вещества. Опираясь на этот факт, можем рассматривать пластинку «DS-1» сечением 1 см^2 и толщиной T как пластинку, состоящую из четырех слоев: I – клей, II – шпон, III – барит, IV - наполнитель (рис. 3).

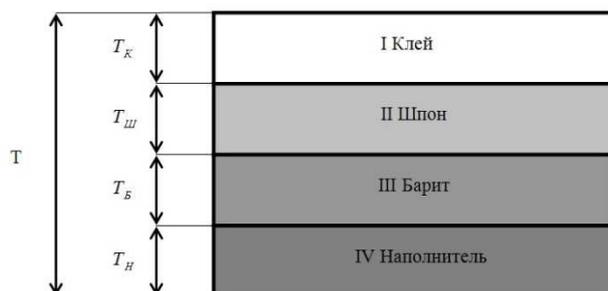


Рис. 3. Слои пластинки

Пусть на пластинку «DS-1», состоящую из четырех слоев, имеющую поперечное сечение 1 см^2 и толщину T , падает пучок рентгеновских лучей интенсивности I_0 . Известно, что клей как связующее, оказывает незначительное влияние на снижение интенсивности излучения. Поэтому будем считать, что интенсивность рентгеновских лучей после прохождения слоя клея толщиной T_K не меняется и составляет I_0 .

Толщина второго слоя (шпона) равна $2T_{Ш}$, где $T_{Ш}$ – толщина одного листа шпона. Тогда на основании закона ослабления рентгеновских лучей можем записать

$$I_{T_{Ш}} = I_0 \exp(-2\mu_m^{(0)} \rho_r^{(0)} T_{Ш}), \quad (2)$$

где величина $\rho_r^{(0)}$ может быть определена экспериментально [4].

Последнее равенство означает, что на поверхность третьего слоя (слой барита) падает пучок рентгеновских лучей интенсивности $I_{T_{III}}$.

После прохождения третьего слоя (барита) на основании закона ослабления рентгеновских лучей имеем

$$I_{T_B} = I_{T_{III}} \exp\left[-\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)} T_B\right].$$

Учитывая, что $T_B = 0,3(T - 2T_{III})$, имеем

$$I_{T_B} = I_{T_{III}} \exp\left[-0,3\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)} (T - 2T_{III})\right].$$

Подставив значение $I_{T_{III}}$ из равенства (2), получим

$$\begin{aligned} I_{T_B} &= I_0 \exp\left[-2\mu_m^{(D)} \rho_r^{(D)} T_{III}\right] \times \exp\left[-0,3\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)} (T - 2T_{III})\right] = \\ &= I_0 \exp\left[-\left(2\mu_m^{(D)} \rho_r^{(D)} T_{III} + 0,3\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)} (T - 2T_{III})\right)\right] \end{aligned} \quad (3)$$

Из последнего равенства следует, что на поверхность четвертого слоя (наполнителя) пучок рентгеновских лучей интенсивности I_{T_B} .

Снова воспользуемся законом ослабления рентгеновских лучей, имеем

$$I_T = I_{T_B} \exp\left[-0,45\mu_m^{(H)} \rho_r^{(H)} (T - 2T_{III})\right].$$

Подставляя в последнее равенство значение величины I_{T_B} из равенства (3), получим

$$\begin{aligned} I_T &= I_{T_B} \exp\left[-0,45\mu_m^{(H)} \rho_r^{(H)} (T - 2T_{III})\right] = \\ &= I_0 \exp\left[-\left(0,45\mu_m^{(H)} \rho_r^{(H)} (T - 2T_{III}) + 2\mu_m^{(D)} \rho_r^{(D)} T_{III} + 0,3\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)} (T - 2T_{III})\right)\right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Прологарифмировав равенство (4) по натуральному основанию, учитывая равенство (1), получим

$$\ln \frac{I_0}{I_T} = \left[\left(0,45\mu_m^{(H)} \rho_r^{(H)} (T - 2T_{III}) + 2\mu_m^{(D)} \rho_r^{(D)} T_{III} + 0,3\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)} (T - 2T_{III}) \right) \right].$$

Отсюда получаем

$$T = \frac{\ln \frac{I_0}{I_T} + (0,9\mu_m^{(H)} \rho_r^{(H)} + 0,6\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)}) T_{III} - 2\mu_m^{(D)} \rho_r^{(D)} T_{III}}{0,45\mu_m^{(H)} \rho_r^{(H)} + 0,3\mu_m^{(B)} \rho_r^{(B)}}. \quad (5)$$

Таким образом, получили, чтобы при прохождении пучка рентгеновского через пластинку «DS-1» интенсивность излучения понизилась с величины I_0 до величины I_T , толщина пластинки должна быть равна величине, определяемой равенством (5) [4].

Так как «DS-1» может быть использован для защиты от рентгеновского излучения и может быть использован в качестве замены свинца, то представляет интерес формула,

которая позволит определять необходимую толщину T_{DS} листа «DS-1», позволяющую заменить лист свинца толщиной T_C .

На основании закона ослабления рентгеновских лучей при прохождении пучка рентгеновского излучения через свинцовую пластинку можем записать

$$I_1 = I_0 \exp(-2\mu_m^{(C)} \rho_r^{(C)} T_C), \quad (6)$$

где: T_C – толщина пластинки свинца;

$\mu_m^{(C)}$ – коэффициента ослабления единицей массы свинца;

$\rho_r^{(C)}$ – рентгеновская плотность свинца.

Кроме того, также на основании закона ослабления рентгеновских лучей при прохождении пучка рентгеновского излучения через пластинку «DS-1» можем записать

$$I_1 = I_0 \exp(-\mu_m^{(DS)} \rho_r^{(DS)} T_{DS}), \quad (7)$$

где: T_{DS} – искомая толщина пластинки «DS-1»;

$\mu_m^{(DS)}$ – коэффициента ослабления единицей массы «DS-1»;

$\rho_r^{(DS)}$ – рентгеновская плотность «DS-1».

Приравнивая правые части равенств (6) и (7), получим

$$\exp(-2\mu_m^{(C)} \rho_r^{(C)} T_C) = \exp(-\mu_m^{(DS)} \rho_r^{(DS)} T_{DS}).$$

Логарифмируя последнее равенство, получим

$$T_{DS} = \frac{2\mu_m^{(C)} \rho_r^{(C)}}{\mu_m^{(DS)} \rho_r^{(DS)}} T_C, \quad (8)$$

Таким образом, получили, что лист свинца толщиной T_C может быть заменен листом «DS-1» толщиной T_{DS} , величина которой определяется равенством (8), при этом интенсивность I_0 пучка рентгеновского излучения после прохождения через лист «DS-1» будет понижена до такой же величины I_C , как и после прохождения этого же пучка рентгеновского излучения через свинцовую пластинку [4].

Оценивая научно-технический уровень выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области, можно констатировать, что внедрение перспективного композиционного материала «DS-1» поможет решить проблему комплексного использования древесного сырья, а также ряд других, в том числе экономических, экологических и энергосберегающих проблем.

Список литературы

1. Азаров В. И. Технология связующих и полимерных материалов / В. И. Азаров, В. Е. Цветков. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 216 с.
2. Ветошкин Ю. И. Конструкции и эксплуатационно-технологические особенности композиционных рентгенозащитных материалов на основе древесины / Ю. И. Ветошкин, И. В. Яцун, О. Н. Чернышев. – Екатеринбург, 2009. – 148 с.
3. Голубев Б. А. Дозиметрия и защита от ионизирующего излучения / Б. А. Голубев. – Л.: Государственное энергетическое изд-во, 1963. – 336 с.
4. Карев Б. Н., Яцун И. В., Ветошкин Ю. И. Теоретическое определение толщины рентгенозащитного композиционного материала // Вестник Казанского университета. – 2013. – № 1.
5. Машкович В. П., Панченко А. М. Основы радиационной безопасности / В. П. Машкович, А. М. Панченко. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
6. Щербаков А. С. Технология композиционных древесных материалов: учеб. пособие для вузов. – М.: Экология, 1992. – 192 с. – ISBN 5-7120-0333-3.
7. Мэттьюз Ф. Композиционные материалы. Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Ролинге. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.

Рецензенты:

Герц Э.Ф., д.т.н., профессор, директор института лесопромышленного бизнеса и дорожного строительства ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.

Пашков В.К., д.т.н., профессор кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.