

design parameters // Measuring. Monitoring. Management. Control. 2016. № 3. P. 23-29.

8. Sannikov S.P., Borodulin I.V., Pobedinskij A.A. Pobedinskij V.V. Dependence of the permittivity of forest fund on climatic factors in radio-frequency monitoring // Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.Forest. Ecology. Nature management. 2017. № 2 (34). P. 28-36.

9. Zadeh L.A. (1988) Fuzzy logic. IEEE Transactions on Computers. 1988. Vol. 21, № 4. P. 83-93.

10. Mamdani E.H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Transactions on Computers. 1977. Vol. 26, № 12. P. 1182-1191.

11. Carneiro A. L. G., Porto Jr. A. C. S. An Integrated Approach for Process Control Valves Diagnosis Using Fuzzy Logic // World Journal of Nuclear Science and Technology. 2014. Vol. 4. P. 148-157.

12. Lin J.-J., Chuang C.-J. and Ko C.-F. Applying GA and Fuzzy Logic to Breakdown Diagnosis for Spinning Process // Intelligent Information Management. 2017. Vol. 9. P. 21-38.

13. Ali A., El-Serafi K., Mostafa S.A.K., El-Sheimy N. Frequency eatures Based Fuzzy System for Rotating Machinery Vibration Analysis Using Smartphones LowCost MEMS Sensors // Journal of Sensor Technology. 2016. Vol. 6. P. 56-74.

14. Uraon K.K., Kumar S. Analysis of Defuzzification Method for Rainfall Event // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2016.Vol. 1, № 1. P. 341-354.

15. Alguliyev R., Abdullayeva F. Development of Fuzzy Risk Calculation Method for a Dynamic Federation of Clouds // Intelligent Information Management. 2015. Vol.7. P. 230-241.

16. Perez O. Fuzzy Law: A Theory of Quasi-Legal Systems // Canadian Journal of Law & Jurisprudence. 2015. Vol. 28. P. 343-370.

17. Ntaganda J.M., Haggar M.S.D., Mampassi B. Fuzzy Logic Strategy for Solving an Optimal Control Problem of Therapeutic Hepatitis C Virus Dynamics // Open Journal of Applied Sciences. 2018. Vol. 5. P. 527-541.

18. Gour A., Pardasani K.R. (2018) Statistical and Soft Fuzzy Set Based Analysis of Amino Acid Association Patterns in Peptide Sequence of Swine Influenza Virus // Advanced Science, Engineering and Medicine. 2018. Vol. 10, № 2. P. 137-144.

19. Miranda G.H.B., Felipe J.C. (2015) Computer-aided diagnosis system based on fuzzy logic for breast cancer categorization // Computers in Biology and Medicine. 2015. № 64 (1). P. 334-34.

20. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.mathworks.com>. (data obrashcheniya: 17.09.2018).

УДК. 674.817

DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-111-117

Дициандиаמיד и его производные как акцепторы формальдегида при изготовлении древесных плит: превращения и влияние на прочность

Д.В. Иванов^а, А.А. Леонович^б

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия

^аivanov.d.v.SPb@74.ru, ^бwood-plast@mail.ru

^а<https://orcid.org/0000-0002-0001-2461>, ^б<https://orcid.org/0000-0001-6971-9644>

Статья поступила 1.10.2018, принята 6.11.2018

В композицию для изготовления древесноволокнистых плит с использованием карбамидоформальдегидной смолы вводили дициандиаמיד для химического связывания формальдегида, выделяющегося при отверждении связующего. Негативное влияние на процесс отверждения устраняли путем применения производной из дициандиамида и серной кислоты, синтезированной при оптимальном мольном соотношении компонентов 1:0,5. Полученный модификатор включали в композицию древесноволокнистых плит при комбинированном способе введения, когда одну половину вводили в составе связующего, а другую — отдельно от связующего. Путем проведения полного факторного эксперимента по равномерноротатбельному плану 3-го порядка найдены технологические параметры изготовления образцов: температура греющих плит пресса 230 °С, удельное время прессования 0,3 мин/мм толщины, массовые доли модификатора, введенного в составе связующего и отдельно от связующего, по 5 % от массы абс. сухой смолы. Образцы отвечают требованиям ГОСТ 32274–2013 по прочности и характеризуются пониженной токсичностью.

Ключевые слова: дициандиаמיד; сульфат гуанилмочевины; формальдегид; акцепторы формальдегида; токсичность древесных плит.

Dicyandiamide and its derivatives as formaldehyde acceptors in the manufacture of wood boards: transformations and effects on strength

D.V. Ivanov^a, A.A. Leonovich^b

St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

^aivanov.d.v.SP@74.ru, ^bwood-plast@mail.ru

^a<https://orcid.org/0000-0002-0001-2461>, ^b<https://orcid.org/0000-0001-6971-9644>

Received 1.10.2018, accepted 6.11.2018

Dicyandiamide was introduced into the composition for the manufacture of fiberboard using a urea-formaldehyde resin for the chemical binding of formaldehyde, which is released during the curing of the binder. The negative impact on the curing process was eliminated by applying a derivative of dicyandiamide and sulfuric acid, synthesized at an optimal molar ratio of 1: 0.5. The resulting modifier was included in the composition of fibreboard with a combined method of administration, when one half was introduced in the composition of the binder, and the other one - separately from the binder. By carrying out a full factorial experiment on a third-order uniform rotatable plan, the technological parameters of sample production were found: the temperature of the press heating plates was 230 °C, the specific pressing time was 0.3 min / mm of thickness, the mass fractions of the modifier introduced as part of the binder and separately from binder, 5% by weight of abs. of dry resin. Samples meet the requirements of GOST 32274-2013 for durability and are characterized by low toxicity.

Keywords: dicyandiamide; guanilurea sulfate; formaldehyde; formaldehyde acceptors; toxicity of wood board.

Введение

В Российской Федерации наблюдается устойчивый рост производства древесноволокнистых плит (ДВП), в 2017 г. объем выпуска увеличился на 8 % и составил 590,3 млн м² [16]. Однако ДВП сухого способа производства, в частности древесноволокнистые плиты средней плотности (MDF от англ. *medium density fiberboard*), имеют повышенную токсичность из-за увеличенного содержания формальдегидсодержащей смолы.

Основным видом связующего в производстве MDF остаются карбамидоформальдегидные смолы (КФС); их отверждение сопровождается образованием токсичного формальдегида, который частично остается в структуре готовых плит и постепенно выделяется в процессе эксплуатации изделий. Одним из способов снижения токсичности древесных плит является их модифицирование акцепторами, прямо или опосредованно (через продукты термопревращения) вступающими в химическую реакцию с формальдегидом [9]. В промышленности наиболее широкое распространение получил карбамид [13; 14], который в условиях горячего прессования образует аммиак, химически реагирующий с формальдегидом с образованием гексаметилентетрамина. Недостатком карбамида является щелочная реакция аммиака, из-за которой не достигаются достаточная глубина отверждения КФС и прочность клеевых соединений древесных частиц.

Альтернативой карбамиду как акцептору (модификатору) служит летавин, который образует аммиак при температуре свыше 150 °C, т. е. после отверждения связующего [8]. В производстве древесностружечных плит его вводят только в наружные слои, где образующийся из него аммиак в процессе тепломассопереноса переходит во внутренний слой, заполняя таким образом весь объем плиты и обеспечивая связывание формальдегида.

Технология изготовления MDF не предусматривает разделения потока древесных частиц, поэтому использование послойного способа не представляется возможным. В связи с этим требуется найти акцептор, способный без негативного влияния на физико-механические свойства плиты связывать формальдегид в условиях реальной технологии и всего объема плиты.

В качестве объекта исследования выбрали дициандиамид (C₂H₄N₄, или ДЦДА). Начиная с 70 °C он способен реагировать с формальдегидом по аминогруппам с образованием метилольных производных [2], что открывает возможность для связывания формальдегида в условиях внутреннего слоя MDF. При температуре от 160 °C, в присутствии водяного пара он образует аммелид и аммиак [4].

Методика исследования. Способность ДЦДА образовывать аммиак определяли на навесках массой 1 г, которые выдерживали в термостате, нагретом до 130 °C при моделировании температуры внутреннего слоя и до 220 °C — при моделировании температуры наружных слоев. Выдержку проводили в течение 15 и 30 мин с момента выхода температуры на заданную величину. В препаратах, полученных после термообработки, определяли количество азота согласно [7].

Массу аммиака ($m_{ам}$, г) на 1 г ДЦДА, выделившегося при термообработке, рассчитывали по формуле:

$$m_{ам} = \frac{(N_{a.1} - N_{a.2}) \cdot 17 \cdot 100}{82,35}, \quad (1)$$

где $N_{a.1}$ — количество азота в исходной навеске, *моль*; $N_{a.2}$ — количество азота в препарате, полученном после термообработки, *моль*; 17 — молярная масса аммиака, *г/моль*; 82,35 — массовая доля азота в аммиаке, %.

Для изготовления лабораторных образцов MDF использовали техническое древесное волокно Приозерского завода MDF (ОАО «Лесплитинвест»). Готовили плиты расчетной плотностью 700 кг/м³, толщиной 10

мм. Температуру и удельное время прессования варьировали в широких пределах в зависимости от целей эксперимента. Массовая доля смолы в композиции составила 13 % от общей массы плиты.

Связующее готовили из КФС марки КФ-МТ-15; смолу разбавляли водой до концентрации 55 %, как принято при производстве древесных плит. В качестве отвердителя использовали сульфат аммония (1 % от массы абс. сух. смолы).

Определение физико-механических свойств плит проводили согласно методикам, ссылки на которые даны в стандарте [3]. Расчет полного факторного эксперимента с использованием равномер-ротатабельного плана 3-го порядка проводили по [15].

Результаты исследования. Исследования термопревращений ДЦДА при температурах горячего прессования древесных плит позволили установить, что в ходе термообработки ДЦДА при 220 °С наблюдается уменьшение содержания азота на 8...10 %, что косвенно свидетельствует об образовании аммиака (табл. 1). Расчет по формуле (1) показал, что из 1 г ДЦДА образуется 0,1 и 0,14 г аммиака при выдержке в течение 15 и 30 мин соответственно.

Таблица 1

Влияние термообработки на содержание азота в дициандиамиде

Время, мин	Температура обработки, °С		Исходный ДЦДА
	130	220	
Массовая доля, %			
15	63,4	58,4	66,4
30	62,0	56,0	
Количество на 1 г препарата, моль			
15	0,045	0,042	0,047
30	0,045	0,040	

Также небольшое количество аммиака образуется при выдержке ДЦДА при 130 °С (0,04 г на 1 г препарата при выдержке в течение 15 и 30 мин). Присутствие в порошке влаги (влажность ДЦДА приблизительно 0,77 %) может вызывать частичную деструкцию препарата с образованием гуанилмочевины и гуанидина. Известно [2], что в присутствии насыщенного водяного пара процесс термопревращения ДЦДА ускоряется, поэтому в условиях горячего прессования, когда влажность осмоленного волокна 7...10 %, можно ожидать

большой выход аммиака, чем минимально установленный в модельном эксперименте.

При переходе от моделей к реальным плитам нами были рассмотрены MDF толщиной 4 мм, изготовленные при температуре прессования 130 и 220 °С [6]. Анализ спектров твердотельного ЯМР ¹³С подтвердил, что при температуре наружных слоев преобладает превращение ДЦДА в аммелид с образованием аммиака. При температуре внутреннего слоя возможно превращение ДЦДА в гуанилмочевину, при этом преобладает прямая реакция ДЦДА и продуктов его превращения с формальдегидом с образованием метилольных производных.

В нашей работе [5] содержатся первоначальные результаты исследований влияния ДЦДА на физико-механические свойства MDF. Для эффективного снижения токсичности (более чем на 30 %) следует вводить ДЦДА отдельно от связующего, однако при случайных параметрах изготовления плит прочность значительно ухудшается. Требовалось оптимизировать технологические параметры: расход акцептора и режим прессования.

Исследовали зависимость содержания формальдегида в MDF (E_f , мг/100 г плиты) и прочности при изгибе ($\sigma_{изг}$, МПа) от температуры греющих плит пресса (t , °С), удельного времени прессования (τ , мин/мм) и массовой доли дициандиамида в композиции (q , % от массы абс. сух. смолы). Для этого проводили полный факторный эксперимент с использованием равномер-ротатабельного плана 3-го порядка (табл. 2). ДЦДА наносили на волокно отдельно от связующего, поскольку при таком способе нанесения была достигнута наименьшая токсичность MDF.

Полученные математические модели описываются уравнениями регрессии:

$$E_f = -96,1 + 1,0518t - 31,27\tau + 0,115q - 0,00254t^2 - 9,55\tau^2 + 0,0011q^2 + 0,09t\tau - 0,0018tq + 0,443tq \quad (2)$$

$$\sigma_{изг} = -296 + 2,583t + 224,4\tau - 1,65q - 0,00505t^2 + 17\tau^2 + 0,0017q^2 - 1,136t\tau + 0,0038tq + 1,381tq \quad (3)$$

Визуализация влияния факторов представлена на рис. 1. Для этого один из факторов фиксировали на центральном уровне.

Таблица 2

Значение уровней факторов с интервалами варьирования при испытаниях ДЦДА

Фактор		Уровни фактора			Интервал
Наименование	Обозначение	нижний	верхний	центральный	
Температура, °С	t	220	240	230	20
Время, мин/мм	τ	0,3	0,5	0,4	0,2
Масс. доля ДЦДА, %	q	5	15	10	10

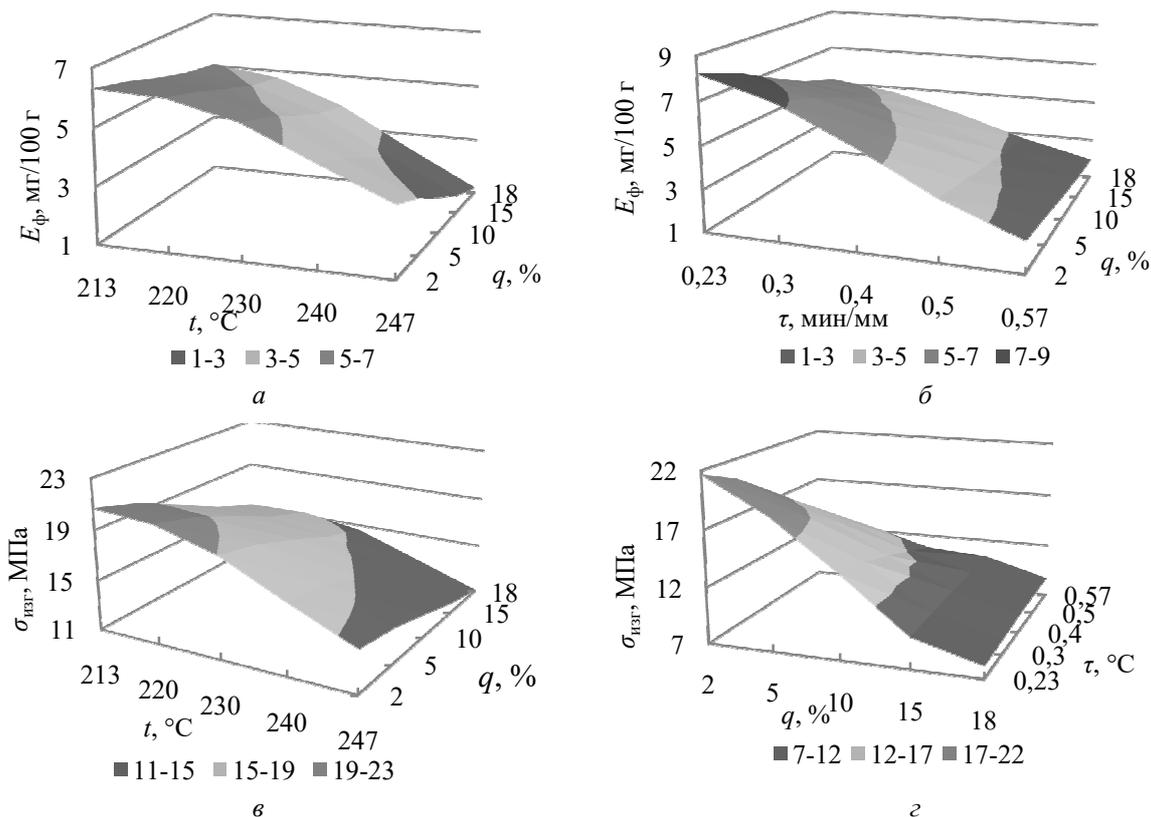
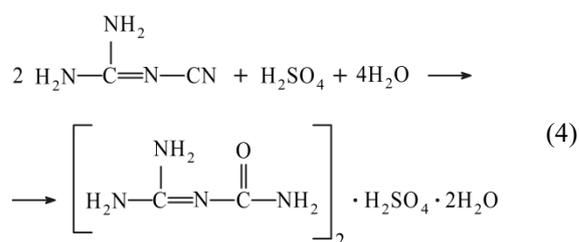


Рис. 1. Зависимость содержания формальдегида и прочности при изгибе от технологических параметров изготовления древесноволокнистых плит: *a* — поверхность отклика в системе координат $E_f - t - q$ при $\tau = 0,4$ мин/мм; *b* — поверхность отклика в системе координат $E_f - \tau - q$ при $t = 230$ °С; *в* — поверхность отклика в системе координат $\sigma_{изг} - t - q$ при $\tau = 0,4$ мин/мм; *г* — поверхность отклика в системе координат $\sigma_{изг} - \tau - q$ при $t = 230$ °С

E_f уменьшается с увеличением q , при повышении t и увеличении τ , однако снижение токсичности сопровождается некоторым падением $\sigma_{изг}$. Требуемую стандартом $\sigma_{изг}$ можно получить при $t = 230$ °С и $\tau = 0,23$ мин/мм, однако тогда E_f будет более 8 мг/100 г. В рамках изучаемых режимов не представляется возможным достичь заданных потребительских параметров. Причина заключается в щелочной реакции аммиака, препятствующей образованию прочного клеевого соединения древесных частиц. Требовалось найти способ совместить присутствие аммиака в парогазовой смеси с процессом отверждения связующего. Необходимо было превратить ДЦДА в кислый продукт через реакцию с сильной минеральной кислотой. В результате подобного взаимодействия получаются кислые соли гуанилмочевины, которые при сохранении способности образовывать аммиак имеют кислую реакцию, способную компенсировать щелочную среду парогазовой смеси. В частности, рассматривали сульфат гуанилмочевины (СГМ) — продукт взаимодействия ДЦДА и серной кислоты (СК) [1; 10] по реакции (4).



Акцептор синтезировали по аналогии с фосфатом гуанилмочевины [11] при мольном соотношении ДЦДА:СК — 1:0,5. Полученный продукт условно обозначили СГМ-0,5. Он характеризуется значением рН 3,9; растворимостью в воде — 5,5 г/100 г растворителя и массовой долей азота 33,6 %.

Чтобы усилить влияние кислого модификатора на КФС, при изготовлении MDF использовали комбинированный способ введения СГМ-0,5 в композицию, когда одну половину вводили в составе связующего, а другую — отдельно от связующего (табл. 3). Исследовали зависимость E_f и $\sigma_{изг}$ от температуры греющих плит пресса (t , °С), массовой доли СГМ-0,5, введенного в составе связующего (q_1 , %) и массовой доли СГМ-0,5, введенного отдельно от связующего (q_2 , %). Удельное время прессования во всех опытах зафиксировали на уровне 0,3 мин/мм толщины. Чтобы усилить влияние кислого модификатора на КФС, при изготовлении MDF использовали комбинированный способ введения СГМ-0,5 в композицию, когда одну половину вводили в составе связующего, а другую — отдельно от связующего (табл. 3). Исследовали зависимость E_f и $\sigma_{изг}$ от температуры плит пресса (t , °С), массовой доли СГМ-0,5, введенного в составе связующего (q_1 , %) и массовой доли СГМ-0,5, введенного отдельно от связующего (q_2 , %). Удельное время прессования во всех опытах зафиксировали на уровне 0,3 мин/мм толщины.

Полученные математические модели описываются уравнениями регрессии:

$$E_{\phi} = -142,3 + 1,399t + 0,83q_1 + 0,135q_2 - 0,003191t^2 + 0,005q_1^2 + 0,025q_2^2 - 0,0055tq_1 - 0,003tq_2 + 0,046q_1q_2 \quad (5)$$

$$\sigma_{изг} = -884 + 8,09t - 0,85q_1 - 4,27q_2 - 0,01805t^2 - 0,31q_1^2 - 0,27q_2^2 + 0,0089tq_1 + 0,02tq_2 + 0,35q_1q_2. \quad (6)$$

Таблица 3

Значение уровней факторов с интервалами варьирования при испытаниях СГС-0,5

Фактор		Уровни фактора			Интервал
Наименование	Обозначение	нижний	верхний	центральный	
Температура, °C	t	220	240	230	20
Масс. доля СГМ-0,5 в КФС, %	q_1	3	7	5	4
Масс. доля СГМ-0,5 отдельно от КФС, %	q_2	3	7	5	4

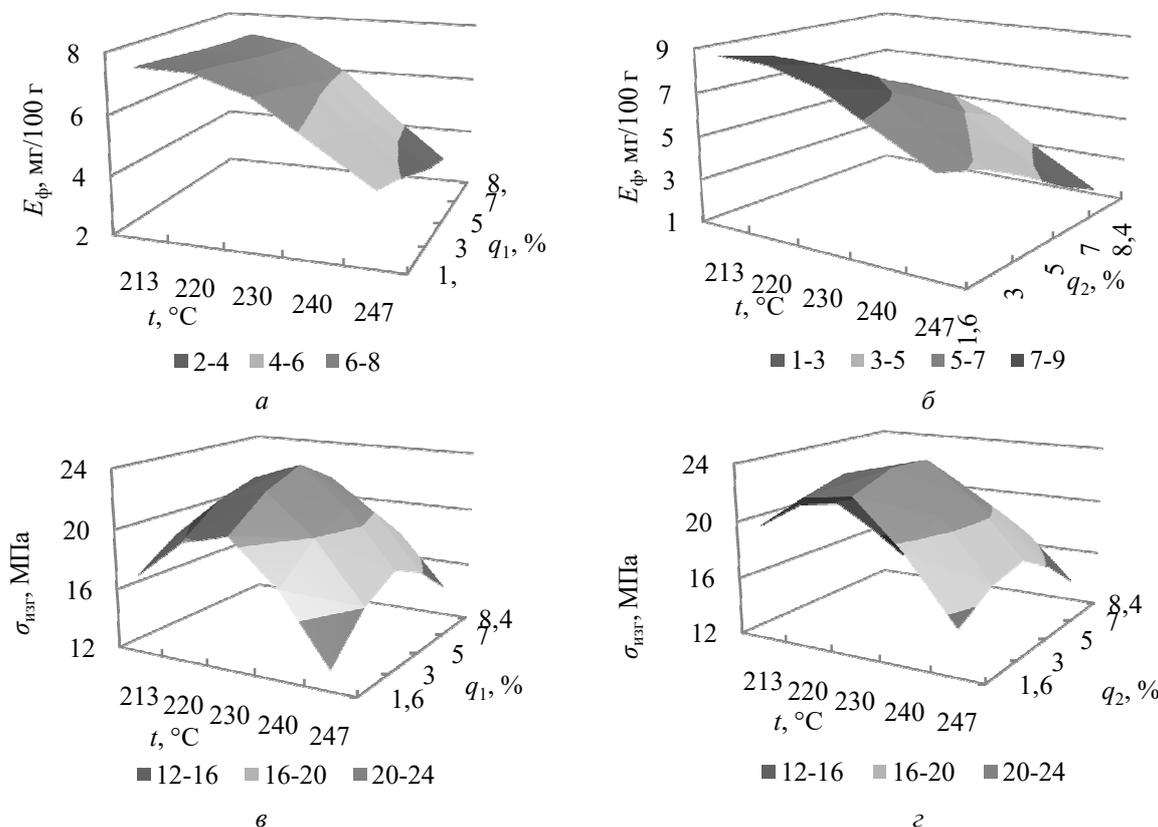


Рис. 2. Зависимость содержания формальдегида и прочности при изгибе от технологических параметров изготовления древесноволокнистых плит: а — поверхность отклика в системе координат $E_{\phi} - t - q_1$ при $q_2 = 5\%$; б — поверхность отклика в системе координат $E_{\phi} - t - q_2$ при $q_1 = 5\%$; в — поверхность отклика в системе координат $\sigma_{изг} - t - q_1$ при $q_2 = 5\%$; г — поверхность отклика в системе координат $\sigma_{изг} - t - q_2$ при $q_1 = 5\%$

С увеличением массовой доли СГМ-0,5 вне зависимости от способа введения акцептора, содержание формальдегида в MDF снижается (рис. 2). Наиболее заметно токсичность плит падает при введении модификатора отдельно от связующего, причем наибольшая эффективность СГМ-0,5 достигается, когда q_2 превышает q_1 . Наибольшая прочность плит наблюдается при равных q_1 и q_2 . На рис. 2, г видно, что с увеличением q_2

прочность растет до тех пор, пока q_2 не становится равным q_1 , а затем наблюдается ее падение. Чрезмерный расход СГМ-0,5 при введении отдельно от связующего приводит к излишнему образованию аммиака и чрезмерному увеличению значения рН парогазовой смеси. При чрезмерном расходе модификатора, совмещенного со связующим, отверждение смолы проходит слишком

быстро, что приводит к ее деструкции. Можно сказать, что факторы q_1 и q_2 уравнивают друг друга.

Согласно данным на рис. 2, наилучшие свойства получены у плит при $q_1 = q_2$. На рис. 3 видно, что с увеличением суммарного содержания СГМ-0,5 в MDF ($q_{\text{сумм}}$, %) токсичность плит падает. До $q_{\text{сумм}} = 10$ % (q_1 и $q_2 = 5$ %) падение идет почти линейно, однако при дальнейшем увеличении $q_{\text{сумм}}$ снижение токсичности значительно замедляется. Прочность MDF повышается с увеличением содержания модификатора до 6 % почти на 11 %. При дальнейшем увеличении $q_{\text{сумм}}$ прочность начинает падать. Так, суммарный расход модификатора 14 % чрезмерен, поскольку содержание формальдегида практически перестает снижаться, а прочность становится ниже, чем у образцов без СГМ-0,5.

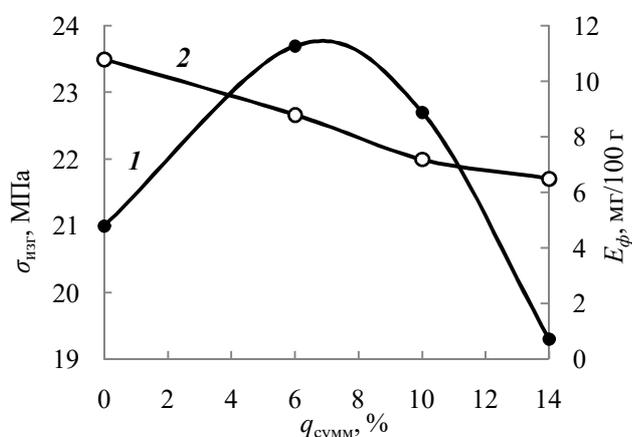


Рис. 3. Зависимость прочности при изгибе (1) и содержания формальдегида в плитах (2) от содержания добавки СГМ-0,5, введенной комбинированным способом

Исследования модификатора СГМ-0,5 показали, что принципиальное решение проблемы снижения токсичности MDF без ухудшения физико-механических свойств плит может быть достигнуто изменением рецептуры композиции (древесное волокно, связующее, акцептор), которая обеспечивала бы требуемые условия качественного отверждения и соответствие прочности плит нужным условиям качества. Согласно патенту [12], поставленная цель достигается использованием СГМ-0,5 с разнесением действия модификатора на две функции. Согласно первой функции СГМ-0,5 выступает в качестве отвердителя КФС, обеспечивая необходимое значение pH связующего. При этом в условиях наружного слоя MDF модификатор подвержен термопревращениям с образованием аммиака, который связывает формальдегид. Таким образом, реализуется его вторая функция. В целом при обеспечении заданных параметров модификатор СГМ-0,5 может быть использован как эффективный акцептор формальдегида, позволяющий изготавливать MDF пониженной токсичности с обеспечением заданных параметров прочности.

Выводы

1. Установлено, что ДЦДА при введении в композицию древесноволокнистых плит способен выде-

лять аммиак в условия горячего прессования и обеспечивать связывание формальдегида, образующегося при отверждении карбамидоформальдегидной смолы. По кинетике нагрева наиболее активно образование аммиака идет в наружных слоях плиты.

2. Компенсировать негативное действие аммиака на качество клеевого соединения возможно путем замены дициандиамида на другой акцептор — сульфат гуанилмочевины, синтезированный при мольном соотношении дициандиамид:серная кислота — 1:0,5. При этом сохраняется способность образовывать аммиак с обеспечением слабокислой среды связующего, необходимой для отверждения карбамидоформальдегидной смолы.

3. Для сохранения заданных свойств плит и эффективного снижения содержания формальдегида необходимо использовать комбинированный способ введения сульфата гуанилмочевины в композицию, когда одну половину модификатора вводят в составе связующего, а другую — отдельно от связующего. Таким образом, возможно изготавливать MDF пониженной токсичности с прочностными свойствами, соответствующими стандарту.

Литература

1. Бьюкенен Д. Цианистые соединения и их анализ: пер. с англ. Н.А. Осоковой. Л.: Ленхимтехиздат, 1933. 125 с.
2. Вирпша З., Бжезинский Я. Аминопласты / пер. с польс. И.В. Холодовой. М.: Химия, 1973. 344 с.
3. ГОСТ 32274–2013. Плиты древесные моноструктурные. Технические условия. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
4. Дициандиамид. Химические системы [Электронный ресурс] // Сайт комп. «Химические системы». URL: <http://chemsystem.ru/catalog/195>, свободный. (дата обращения: 02.07.2018).
5. Иванов Д.В., Леонович А.А., Силичева М.Д. Изготовление химически безопасных древесноволокнистых плит с использованием дициандиамида как акцептора формальдегида // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: сб. докл. 21-ой междунар. науч.-практической конф. Балабаново, 2018. С. 120-128.
6. Иванов Д.В., Леонович А.А., Мазур А.С. О механизмах действия и способах оценки эффективности акцепторов формальдегида в древесных плитах // Изв. С-Петерб. лесотехн. акад. 2018. Вып. 222. С. 263-275.
7. Кастерина Т.Н. Калинина Л.С. Химические методы исследования синтетических смол и пластических масс. М.: Гос. науч.-техническое изд-во хим. литературы, 1963. 288 с.
8. Леонович А.А., Войтова Т.Н., Шпаковский В.Г. Акцептор формальдегида с заданным температурным интервалом действия // Древесные плиты: теория и практика: материалы 18-ой междунар. науч.-практической конф. СПб., 2015. С. 33-40.
9. Леонович А.А., Иванов Д.В. К вопросу минимизации содержания формальдегида в древесных плитах // Древесные плиты: теория и практика: материалы 20-ой Междунар. науч.-практической конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 27-31.
10. Майофис Л.С. Химия и технология химико-фармацевтических препаратов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Медицина, 1964. 716 с.

11. Пэйсек Юджин А., Томасон Сюзн М. Улучшенный антипирен: пат. 009912 ЕАС. № 200300963; заявл. 27.02.02; опубл. 28.04.08.

12. Леонович А.А., Иванов Д.В. Состав для изготовления низкотоксичных древесноволокнистых плит на основе аминформальдегидного связующего, включающий сульфат гуанилмочевины как акцептор формальдегида: пат. 2666759 Рос. Федерация. № 2017143314/13; заявл. 11.12.17; опубл. 12.09.18, Бюл. № 26

13. Романов Н.М. Химия карбамидо- и меламинаформальдегидных смол. М.: ООО Адвансед Солюшнз, 2016. 528 с.

14. Рoffaэль Э. Выделение формальдегида из древесностружечных плит / пер. с нем. А.П. Шетембаха, В.Б. Семенов. М.: Экология, 1991. 160 с.

15. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / пер. с нем. Г.А. Фоминой, Н.С. Лецкой. М.: Мир, 1977. 552 с.

16. Шалашов А.П. Состояние и перспективы развития рынка древесных плит в России // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: сб. докл. 21-ой междунар. науч.-практической конф. Балабаново, 2018. С. 3-11.

References

1. B'yukenen D. Cyanide compounds and their analysis: per. s angl. N.A. Osokorevoj. L.: Lenhimtekhizdat, 1933. 125 p.

2. Virpsha Z., Bzhezinskij Ya. Aminoplasts / per. s pol's. I.V. Holodovoj. M.: Himiya, 1973. 344p.

3. GOST 32274–2013. Mono-structural wood plates. Technical conditions. Vved. 01.07.2014. M.: Standartinform, 2014. 12p.

4. Dicyandiamide. Chemical systems[Elektronnyj resurs] // Sajt komp. «Himicheskie sistemy». URL: http://chemsystem.ru/catalog/195_svbodnyj. (data obrashcheniya: 02.07.2018).

5. Ivanov D.V., Leonovich A.A., Silicheva M.D. Production of chemically safe wood-fiber boards using dicyandiamide as an acceptor of formaldehyde // Sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva drevesnyh plit: sb. dokl. 21-oj mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. Balabanovo, 2018. P. 120-128.

6. Ivanov D.V., Leonovich A.A., Mazur A.S. About mechanisms of action and ways to evaluate the effectiveness of formaldehyde acceptors in wood plates //Izvestia SPbLTA. 2018. Vyp. 222. P. 263-275.

7. Kasterina T.N. Kalinina L.S. Chemical methods for the study of synthetic resins and plastic masses. M.: Gos. nauch.-tekhnicheskoe izd-vo him. literatury, 1963. 288 p.

8. Leonovich A.A., Vojtova T.N., Shpakovskij V.G. Formaldehyde acceptor with a given temperature range of action // Drevesnye plity: teoriya i praktika: materialy 18-oj mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. SPb., 2015. P. 33-40.

9. Leonovich A.A., Ivanov D.V. On the issue of the minimization of formaldehyde content in wood plates // Drevesnye plity: teoriya i praktika: materialy 20-oj Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2017. P. 27-31.

10. Majofis L.S. Chemistry and Technology of Chemical Pharmaceuticals. 2-e izd., pererab. i dop. L.: Medicina, 1964. 716 p.

11. Pehjsek Yudzhin A., Tomason Syuzn M. Superior Fire Retardant: pat. 009912 ЕАС. № 200300963; заявл. 27.02.02; опубл. 28.04.08.

12. Leonovich A.A., Ivanov D.V. The composition for the manufacture of low-toxic fibreboard based on aminoformaldehyde binder, including guanilurea sulfate as formaldehyde acceptor: pat. 2666759 Ros. Federaciya. № 2017143314/13; заявл. 11.12.17; опубл. 12.09.18, Byul. № 26.

13. Romanov N.M. Chemistry of carbamide and melamine-formaldehyde resins. M.: ООО Адвансед Солюшнз, 2016. 528 p.

14. Roffaehl' Eh. Formaldehyde isolation from chipboard / per. s nem. A.P. Shetembaha, V.B. Semenovoj. M.: Ekologiya, 1991. 160 p.

15. Hartman K. Planning of an experiment in the study of technological processes / per. s nem. G.A. Fominoj, N.S. Leckoj. M.: Mir, 1977. 552 p.

16. Shalashov A.P. The state and prospects for the development of the market for wood-based panels in Russia // Sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva drevesnyh plit: sb. dokl. 21-oj mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. Balabanovo, 2018. P. 3-11.