

UDC 674.81
IRSTI 67.07.11
RESEARCH ARTICLE

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ZEOLITES ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF ADHESIVES

Z.M. Isaeva , A.K. Sambetbayeva* , E.B. Kurmanbekova 

International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The article is devoted to the analysis of the effect of the addition of zeolites on the properties of adhesives used in the woodworking industry. Zeolites with adsorption and catalytic properties were used as modifiers of adhesive systems. This work contributes to the creation of environmentally friendly adhesives for the woodworking industry, reducing the impact on the environment. The aim of the study is to modify adhesive compositions with different concentrations of zeolite and to study their effect on technological parameters. The methods of synthesis of modified adhesives and methods of their testing are described. The results show that the introduction of zeolites into the composition of adhesives accelerates the gelatinization process due to the catalytic action of alkali metal oxides contained in aluminosilicates. This reduces the polycondensation time and allows you to maintain the performance of the CF-LT-15 glue for 8÷9 hours, which corresponds to technological standards. However, an increase in the size and concentration of aluminosilicate particles increases the conditional viscosity of the adhesive from 52 to 95 seconds, which complicates its application to substrates. In this regard, it is recommended to limit the filler content to 8 mass parts. This article summarizes the results of the study and offers recommendations for the industrial use of modified adhesives. The results may be of interest to both the scientific community and the woodworking industry, which is striving to create more efficient and environmentally friendly adhesives.*

Keywords: *modification, carbamide-formaldehyde resin, zeolite, formaldehyde, glue, aluminosilicate*

***Corresponding author**

Aigul Sambetbayeva, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-04>

Received 15 January 2024; Revised 23 February 2024; Accepted 05 April 2024.

ӘОЖ 674.81
ҒТАМР 67.07.11
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

ЦЕОЛИТТЕРДІҢ ЖЕЛІМДЕРДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Ж.М. Исаева , А.К.Самбетбаева* , Э.Б.Кұрманбекова 

Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан

Аңдатпа. Мақала ағаш өңдеу өнеркәсібінде қолданылатын желім қосылыстарының қасиеттеріне цеолиттерді қосудың әсерін талдауға арналған. Адсорбциялық және каталитикалық қасиеттері бар цеолиттер желім жүйелерінің модификаторлары ретінде қолданылады. Бұл жұмыс қоршаған ортаға әсерді азайтатын Ағаш өңдеу өнеркәсібі үшін экологиялық таза желім қосылыстарын жасауға ықпал етеді. Зерттеудің мақсаты-цеолиттің әртүрлі концентрациясы бар желім қосылыстарын өзгерту және олардың Технологиялық параметрлерге әсерін зерттеу. Модификацияланған желімдерді синтездеу әдістері және оларды сынау әдістері сипатталған. Нәтижелер цеолиттерді желімдердің құрамына енгізу алюмосиликаттардағы сілтілі металл оксидтерінің каталитикалық әсері арқылы желатиндену процесін жеделдететінін көрсетеді. Бұл поликонденсация уақытын азайтады және КФ-МТ-15 желімінің жұмыс қабілеттілігін технологиялық нормаларға сәйкес келетін 8÷9 сағат бойы сақтауға мүмкіндік береді. Алайда, алюмосиликат бөлшектерінің мөлшері мен концентрациясының жоғарылауы желімнің шартты тұтқырлығын 52-ден 95 секундқа дейін арттырады, бұл оны субстратқа қолдануды қиындатады. Осыған байланысты толтырғыштың құрамын 8 салм.бөл. дейін шектеу ұсынылады. Бұл мақалада зерттеу нәтижелері келтірілген және өзгертілген желімдерді өнеркәсіптік пайдалану бойынша ұсыныстар берілген. Нәтижелер ғылыми қауымдастық үшін де, тиімдірек және экологиялық таза желім материалдарын жасауға ұмтылатын Ағаш өңдеу өнеркәсібі үшін де қызықты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: модификация, карбамидоформальдегидті шайыр, цеолит, формальдегид, желім, алюмосиликат

*Автор-корреспондент

Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-04>

Алынды 15 қаңтар 2024; Қайта қаралды 23 ақпан 2024; Қабылданды 05 сәуір 2024..

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕОЛИТОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЛЕЕВ

Ж.М. Исаева , А.К. Самбетбаева* , Э.Б. Құрманбекова 

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

Аннотация. *Статья посвящена анализу воздействия добавления цеолитов на свойства клеевых составов, применяемых в деревообрабатывающей промышленности. В качестве модификаторов клеевых систем использованы цеолиты, обладающие адсорбционными и каталитическими свойствами. Эта работа способствует созданию экологически безопасных клеевых составов для деревообрабатывающей отрасли, уменьшающих воздействие на окружающую среду. Целью исследования является модификация клеевых составов с различными концентрациями цеолита и изучение их влияния на технологические параметры. Описаны методики синтеза модифицированных клеев и методы их испытаний. Результаты показывают, что введение цеолитов в состав клеев ускоряет процесс желатинизации за счет каталитического действия оксидов щелочных металлов, содержащихся в алюмосиликатах. Это уменьшает время поликонденсации и позволяет сохранять работоспособность клея КФ-МТ-15 на протяжении 8÷9 часов, что соответствует технологическим нормам. Однако увеличение размера и концентрации частиц алюмосиликата повышает условную вязкость клея с 52 до 95 секунд, что усложняет его нанесение на подложки. В связи с этим рекомендуется ограничить содержание наполнителя до 8 мас.ч. В данной статье подводятся итоги исследования и предлагаются рекомендации для промышленного использования модифицированных клеев. Результаты могут быть интересны как для научного сообщества, так и для деревообрабатывающей промышленности, стремящейся к созданию более эффективных и экологически чистых клеевых материалов.*

Ключевые слова: *модификация, карбамидоформальдегидная смола, цеолит, формальдегид, клей, алюмосиликат*

*Автор-корреспондент

Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-04>

Поступило 15 января 2024; Пересмотрено 23 февраля 2024; Принято 05 апреля 2024.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

В современной деревообрабатывающей промышленности и материаловедении большое внимание уделяется поиску и применению экологичных и эффективных технологий, направленных на улучшение свойств полимерных материалов. Одним из наиболее важных направлений в этом контексте является разработка и модификация клеевых составов, используемых в различных отраслях промышленности. Карбамидоформальдегидные смолы, благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая адгезия, термостойкость и водостойкость, занимают ведущее место среди термореактивных полимеров, используемых в производстве клеевых древесных изделий и других композитных материалов. Однако, несмотря на широкое применение, эти смолы имеют существенные недостатки, такие как высокий уровень эмиссии формальдегида, что вызывает серьёзные опасения с точки зрения экологии и здоровья человека.

Исследования последних лет показали, что использование различных добавок может существенно модифицировать и улучшить свойства карбамидоформальдегидных смол (**Chubinsky et al., 2016; Machneva et al., 2023**). В частности, цеолиты, обладающие пористой структурой и способностью к ионному обмену, представляют интерес как потенциальные модификаторы для улучшения технологических и экологических характеристик клеев. Несмотря на известные данные о влиянии цеолитов на снижение эмиссии вредных веществ в различных полимерных материалах, исследования в контексте карбамидоформальдегидных клеев остаются недостаточно разработанными. На основании этого обзора становится очевидным наличие пробела в знаниях относительно конкретного влияния цеолитов на технологические свойства клеев на основе карбамидоформальдегидной смолы.

Данное исследование направлено на устранение этого пробела и нацелено на оценку, как добавление цеолитов может влиять на такие критически важные параметры, как прочность связи, время отверждения смолы, и степень эмиссии формальдегида. Целью данного исследования является систематическое изучение влияния различных концентраций цеолитов на основные технологические характеристики карбамидоформальдегидных клеев и определение оптимальных условий их применения для повышения экологической безопасности и технологической эффективности клеевых составов. В рамках исследования будет проведён ряд экспериментов, включая механические испытания и химический анализ, для точной оценки влияния цеолитов на выбранные параметры.

Таким образом, данное исследование не только заполняет существующие пробелы в научных знаниях, но и способствует развитию экологически чистых технологий в производстве клеев, что является важным шагом в направлении устойчивого развития и минимизации вредного воздействия промышленной деятельности на окружающую среду.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В индустрии деревообработки активно используются разнообразные клеевые материалы, производимые на основе синтетических клеев. Для соединения шпона и древесных частиц применяют как карбамидоформальдегидные, так и фенолоформальдегидные клеи, а также их комбинации для горячего отверждения. Эти клеи стали объектом множества исследований, направленных на их улучшение (**Mannapov et al., 2022; Pasko & Machneva, 2023**). Исследование влияния алюмосиликатов на технологические свойства клеев на основе карбамидоформальдегидной смолы в последние годы значительно расширилось, нацеливаясь на экологическую безопасность и техническую эффективность клеевых составов. В последние годы акцент в исследованиях сместился на поиск экологически безопасных добавок, которые могли бы улучшить свойства смол без ущерба для окружающей среды. Алюмосиликаты, благодаря своим адсорбционным и каталитическим свойствам, представляют большой интерес для исследователей и инженеров.

Исследования (**Shamaev, 2014; Zhou et al., 2019; Pas'ko et al., 2021; Tsvetkov et al., 2022**)

подчеркивают значительное улучшение термостойкости и снижение эмиссии формальдегида. Ключевой концепцией в этой области является использование алюмосиликатов как "экологических поглотителей" формальдегида. Теоретические основы этого подхода описаны в работах ([Samaržija-Jovanović et al., 2022](#)), где подчеркивается потенциал этих материалов для повышения экологичности клеев. Существует дискуссия по поводу баланса между эффективностью адсорбции и механическими свойствами клея после добавления алюмосиликатов ([Varankina & Chubinsky, 2014](#); [Ponomarenko & Kantieva, 2018](#)).

Некоторые исследования ([Blanchet & Pepin, 2021](#); [Tsvetkov et al., 2022](#)) указывают на возможное ухудшение некоторых механических характеристик при определенных условиях использования. В исследованиях применяются как экспериментальные, так и теоретические методы. Например, в работе ([Orji & McDonald, 2023](#)) используется компьютерное моделирование для прогнозирования влияния алюмосиликатов на свойства клеев. В настоящее время недостаточно данных о долговременном влиянии алюмосиликатов на стабильность клеев при различных условиях эксплуатации. Эти данные критичны для понимания реального потенциала алюмосиликатов в промышленном применении.

Поэтому данное исследование направлено на устранение этих недостатков, с акцентом на долгосрочной стабильности и экологической безопасности. Основываясь на существующей литературе, мы предполагаем, что модификация карбаминоформальдегидных смол алюмосиликатами может значительно улучшить их экологические и технологические характеристики.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для приготовления клея на основе карбаминоформальдегидных смол использовались следующие материалы. Цеолит Чанканайского месторождения представляет собой природный композит, представленный вулканическими породами, богатыми микропористыми минералами. Цеолит благодаря своим уникальным адсорбционным свойствам может эффективно поглощать формальдегид, уменьшая его концентрацию в воздухе помещений.

В качестве модификатора был использован измельчённый цеолит Чанканайского месторождения Казахстана. Размер частиц алюмосиликата составляет от 0,2 до 0,8 мм. Алюмосиликат предварительно необходимо размолоть и просеять на специальных ситах диаметрами ячеек от 0,2 до 0,8 мм. Из снимков электронно-микроскопического исследования частицы цеолита имеют брусковидную ([Рисунок 1, а](#)) и пластинчатую ([Рисунок 1, б](#)) форму, характерную для клиноптилолита.

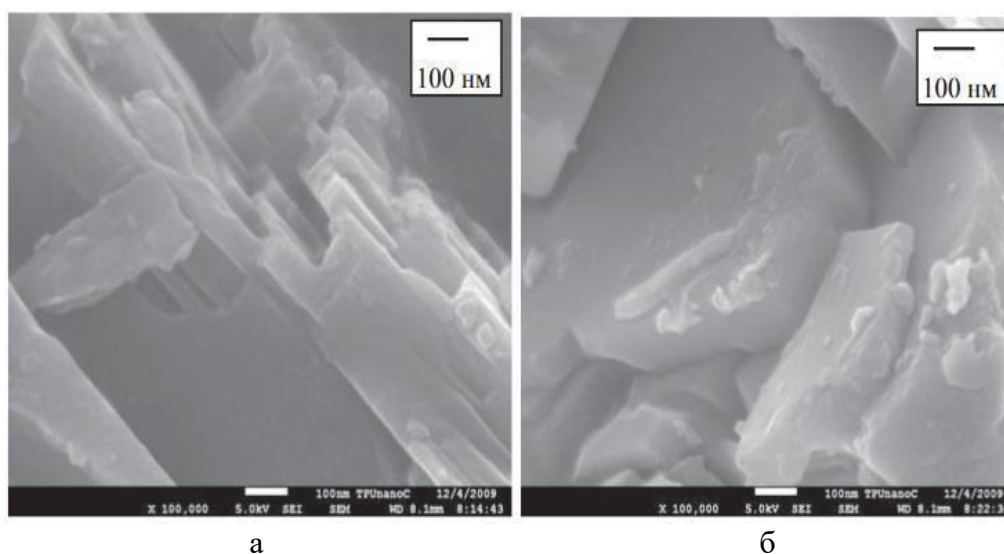


Рисунок 1 – Микрофотографии цеолитов Чанканайского месторождения ([Sakibaeva et al., 2018](#)).

Основные физико-химические характеристики цеолита Чанканайского месторождения приведены в [Таблице 1](#).

Таблица 1

Основные физико-химические характеристики цеолита Чанканайского месторождения ([Vasilyanova & Lazareva, 2016](#)).

Наименование показателя	Ед. изм.	Характеристика
Массовая доля цеолита	%	50-84
Минеральная форма		Клиноптилолит
Твердость по шкале Мооса		4,5
Сопутствующие минералы:	%	
кварц и полевошпатовый шпат		24-30
глинистые минералы		3,0-6,0
доломит		0,5-2,0
Емкость поглощения по иону аммония	мг.экв/г	0,75-1,25
Насыпная плотность	г/см ³	1,17-1,32
Плотность истинная	г/см ³	2,18-2,50
Механическая прочность	кг/см ²	150-220

Физико-химические свойства цеолита Чанканайского месторождения приведены в [Таблице 2](#).

Таблица 2

Физико-химические свойства цеолита Чанканайского месторождения ([Sakibaeva et al., 2018](#)).

Гранулометрический состав

Размер фракции, мм	Содержание, %
1,25	1,3
1,5-2,5	30,6
2,5-10	60,5
10	7,6
Насыпная плотность, г/см ³	0,905
Химический состав	Содержание, %
SiO ₂	60-72
Al ₂ O ₃	14-15
CaO	0,13-6,40
MgO	0 -2,12
K ₂ O	0,66- 4,03
Na ₂ O	0,61-5,45
Fe ₂ O ₃	1,4-5,83
TiO ₂	0,07-0,7
MnO ₂	0,067-0,199
Минеральный состав	Содержание, %
Клиноптилолит	50-84
сопутствующие минералы	24-30

Как видно из таблицы 2 по химическому составу цеолит Чанканайского месторождения относится к высококремнеземистой, характеризуется высоким отношением Si/Al–4,55; общее содержание SiO₂ и Al₂O₃ составляет 74-87% ([Sakibaeva et al., 2018](#)).

Общий вид порошка цеолита, использовавшегося в исследованиях, представлен на [Рисунке 1](#).



Рисунок 2 – Общий вид порошка цеолита (материал авторов)

Карбамидоформальдегидная смола КФ-МТ-15 (ГОСТ 14231) представляет собой растворимый полимерный продукт, который используется в производстве древесностружечных и других древесных плит. Эта смола обладает отличной адгезией и способностью к быстрому отверждению, что обеспечивает прочность и долговечность склеиваемых материалов. Также смола выделяется своей способностью удерживать форму изделий даже в условиях высокой влажности, что делает её идеальным выбором для использования в строительстве и мебельной промышленности. Показатели физико-химических свойств смолы приведены в [Таблице 3](#).

Таблица 3

Показатели физико-химических свойств смолы

Показатель	Значение показателя
Массовая доля сухого остатка, %	68
Время желатинизации при 100 °С, с	68
Условная вязкость (отверстие диаметром 4 мм), с	80
Концентрация ионов водорода при 20 °С	8,1
Показатель преломления при 20 °С	1,471
Предельная смешиваемость смолы с водой, при которой наблюдается коагуляция по объёму	1:4,5

Хлористый аммоний NH_4Cl – это неорганическое соединение, состоящее из аммония и хлора. Он представляет собой бесцветные кристаллы, хорошо растворимые в воде и обладающие сильными гигроскопическими свойствами. Хлористый аммоний NH_4Cl применяется в качестве отвердителя КФ смол для горячего склеивания.

Для определения вязкости применяли вискозиметр типа ВЗ-246 «SIMEX» по ГОСТ 9070. Диаметр сопла $d = 4$ мм ([Рисунок 5](#)). Общий вид вискозиметра представлен на [Рисунке 3](#).



Рисунок 3 – Общий вид вискозиметра ВЗ-246 (материал авторов).

Вискозиметр поместили в штатив и с помощью уровня установили в горизонтальном положении. Под сопло вискозиметра поместили сосуд. Отверстие сопла закрывали пальцем, испытуемый материал наливали в вискозиметр с избытком, чтобы образовался выпуклый мениск над верхним краем вискозиметра. Наполняли вискозиметр медленно, чтобы предотвратить образование пузырьков воздуха. Избыток материала и образовавшиеся пузырьки воздуха удаляли при помощи стеклянной пластинки или алюминиевого диска, сдвигаемых по верхнему краю воронки в горизонтальном направлении таким образом, чтобы не образовалось воздушной прослойки.

Открывали отверстие сопла и одновременно с появлением испытуемого материала из сопла включали секундомер. В момент первого прерывания струи испытуемого материала секундомер останавливали и отсчитывали время истечения.

За результат испытания принимали среднее арифметическое результатов трёх измерений времени истечения в секундах.

Условную вязкость (X) вычисляют по формуле:

$$X = t * K \quad (1)$$

где t - среднее арифметическое значение времени истечения испытуемого материала, с;
 K - поправочный коэффициент вискозиметра.

Поправочный коэффициент K вычисляют по следующей формуле:

$$K = \frac{t_1}{t_2} \quad (2)$$

где t_1 - время истечения контрольной жидкости из контрольного вискозиметра, с; t_2 - время истечения контрольной жидкости из поверяемого вискозиметра, с. В ходе исследования было установлено, что значение поправочного коэффициента вискозиметра (K) составляет 0,98.

Сухой остаток клея определяется по стандартизированному методу, регламентированному ГОСТ 18992.1 "Клеи. Методы определения количества нелетучих веществ". Этот стандарт предусматривает нагревание образца клея до постоянной массы при определенной температуре, чтобы испарить все летучие компоненты, после чего измеряется масса оставшегося сухого остатка. Это позволяет точно определить процентное содержание нелетучих компонентов в клее. Для измерения водородного показателя модифицированного клея используется универсальный иономер ЭВ-74. Процесс начинается с подготовки и разведения образца в дистиллированной воде, затем следует калибровка прибора с помощью буферных растворов с известными значениями рН. После измерения рН необходимо тщательно очистить электрод для обеспечения точности последующих тестов. Продолжительность желатинизации композиционного клея на основе смолы, определяют с

помощью вискозиметрического метода. Этот метод позволяет измерять изменения вязкости клея при заданной температуре и условиях для оценки времени, необходимого для желатинизации смолы. В процессе испытания образец клея нагревают до определенной температуры, при которой он должен желатинизироваться, и замеряют время, за которое вязкость материала достигает определенного уровня, указывающего на начало желатинизации. Этот метод важен для контроля качества в производстве, так как продолжительность желатинизации напрямую влияет на рабочие характеристики клея и время его отвердевания.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

При соединении элементов из древесины, используемые клеи должны обеспечивать прочность, надежность и долговечность склеиваемых соединений. Исследуем влияние добавления цеолитов на характеристики клеев. Добавление алюмосиликата в карбамидоформальдегидные смолы слабо влияет на их цвет, придавая им светло-коричневый оттенок, схожий с цветом древесины.

Вязкость смол и клеев определяет их способность равномерно распределяться по поверхности древесины и других материалов. С увеличением вязкости растет толщина клеевого слоя при нанесении, что приводит к большому расходу клея.

Таблица 4

Вязкость модифицированного клея на основе смолы КФ-МТ-15 в зависимости от соотношения компонентов и размера частиц.

Соотношение компонентов, %		Вязкость клея в зависимости от размера частиц наполнителя					
КФ-МТ-15	Цеолит	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
100	-	36	-	-	-	-	-
98	2,0	36	39	50	60	79	82
96	4,0	37	42	51	63	79	83
94	6,0	48	56	64	72	84	87
92	8,0	52	57	67	75	95	96
90	10,0	70	71	73	81	120	124
88	12,0	72	74	78	103	126	130

На **Рисунке 4** представлена диаграмма, показывающая зависимость вязкости клеевой композиции от количества добавляемого наполнителя и размеров его частиц.

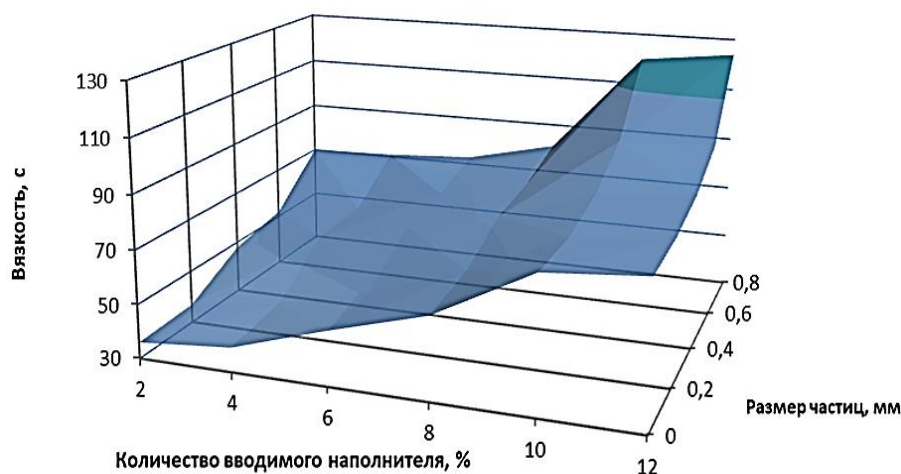


Рисунок 4 – Влияние количества вводимого наполнителя и размера его частиц на вязкость клеевой композиции КФ-МТ-15

В клеевой композиции с добавлением наполнителя от 2,0 до 12 мас. частей и частиц размером 0,2 мм наблюдается незначительное увеличение вязкости. Это объясняется тем, что

наполнитель, представляющий собой мелкодисперсный порошок, частично растворяется в смоле, частично реагирует с ней, а частично остаётся во взвешенном состоянии. Даже при добавлении малого количества наполнителя вязкость изменяется, но остаётся в пределах норм, установленных ГОСТом, за исключением случаев, когда композиция выдерживается 24 часа.

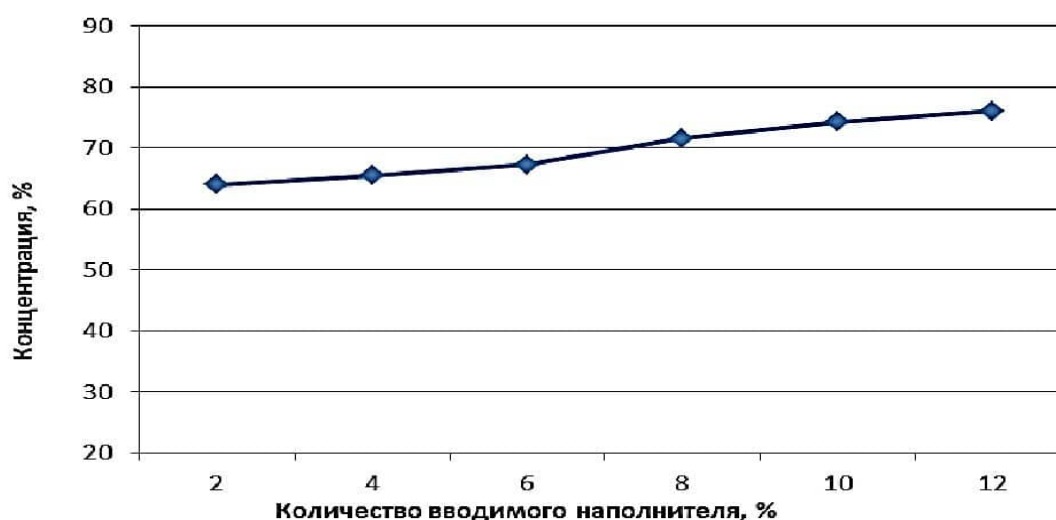
Вязкость прямо пропорциональна концентрации клея, поэтому, определяя количество нелетучих веществ, мы находим сухой остаток клея. При добавлении наполнителя концентрация клея меняется, но также остаётся в пределах норм ГОСТа. Результаты экспериментов, иллюстрирующие зависимость концентрации от добавленного наполнителя, представлены в **Таблице 5**.

Таблица 5

Концентрация модифицированного клея на основе смолы КФ-МТ-15

Наименование	Количество наполнителя, %						
	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	12
Концентрация, %	64	65,5	67,3	71,6	74,3	76,1	79,4

На **Рисунке 5** представлена диаграмма, показывающая зависимость концентрации смолы КФ-МТ-15 от количества добавляемого наполнителя.

**Рисунок 5** – Влияние количества вводимого наполнителя на концентрацию смолы КФ-МТ-15.

Изменение концентрации происходит за счет увеличения массовой доли наполнителя, а также из-за полной реакции поликонденсации и более интенсивной сшивки атомов в процессе отверждения.

В рамках этого исследования водородный показатель модифицированного клея измерялся с использованием универсального иономера ЭВ-74. Полученные значения pH сравнивались с эталонной шкалой, результаты были занесены в **Таблицу 6** для дальнейшего анализа.

Таблица 6

Водородный показатель модифицированного клея на основе смолы КФ-МТ-15

Количество вводимого наполнителя, %	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	12
Водородный показатель среды, pH	8	8	8	7	7	6	6

На **Рисунке 6** представлена диаграмма, показывающая зависимость водородного показателя от количества добавляемого наполнителя.

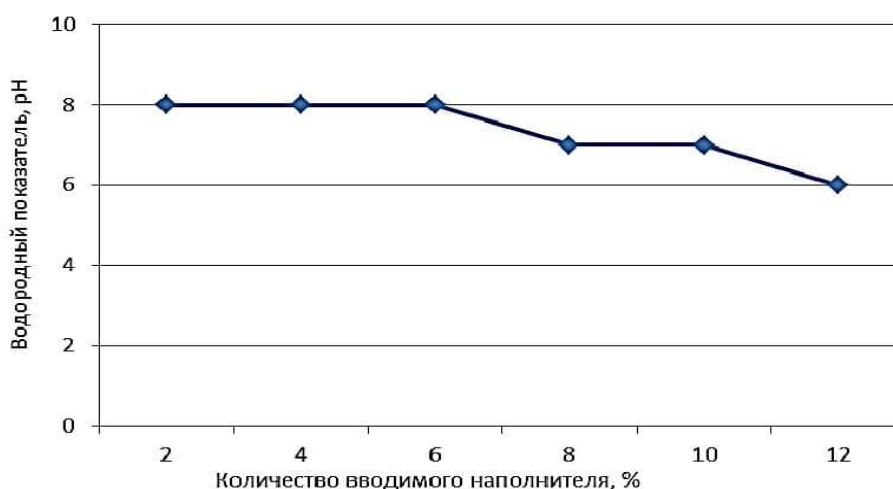


Рисунок 6 – Влияние количества вводимого наполнителя на водородный показатель модифицированного клея

Исследования показали, что с увеличением содержания наполнителя у смолы КФ-МТ-15 водородный показатель pH снижается из-за каталитического действия оксидов щелочных металлов. Важно отметить, что алюмосиликат с pH от 6 до 7 не оказывает разрушающего воздействия на древесину. Также было обнаружено, что добавление от 0,3 до 0,5 процентов хлористого аммония снижает pH клеевой композиции КФ-МТ-15 с 8 до 6. Результаты экспериментов, касающихся измерения времени желатинизации смол, представлены в **Таблице 7**.

Таблица 7

Время желатинизации композитного клея на основе смолы КФ-МТ-15 в зависимости от количества и размера частиц наполнителя

Количество наполнителя, м.ч.	Продолжительность желатинизации модифицированного клея, с			
	0,2	0,4	0,6	0,8
2,0	50	51	52	55
4,0	47	49	49	52
6,0	45	47	48	50
8,0	43	44	45	47
10,0	38	40	41	44
12,0	35	37	38	40

На **Рисунке 7** представлена диаграмма, показывающая зависимость продолжительности желатинизации смолы от количества вводимого наполнителя и размеров его частиц.

Уменьшение времени желатинизации карбамидоформальдегидных смол наиболее выражено при пониженных температурах отверждения, сокращаясь с 51 секунд до 37 секунд. Это имеет значительное значение для производства фанеры, где температура склеивания обычно не превышает 130°C. Сокращение продолжительности желатинизации обусловлено ускорением реакции, возможно поликонденсации, за счёт увеличения активности аминных и гидроксильных групп в поперечных связях кристаллической структуры полимера во время углубления процесса поликонденсации под воздействием интенсивной химической активности.

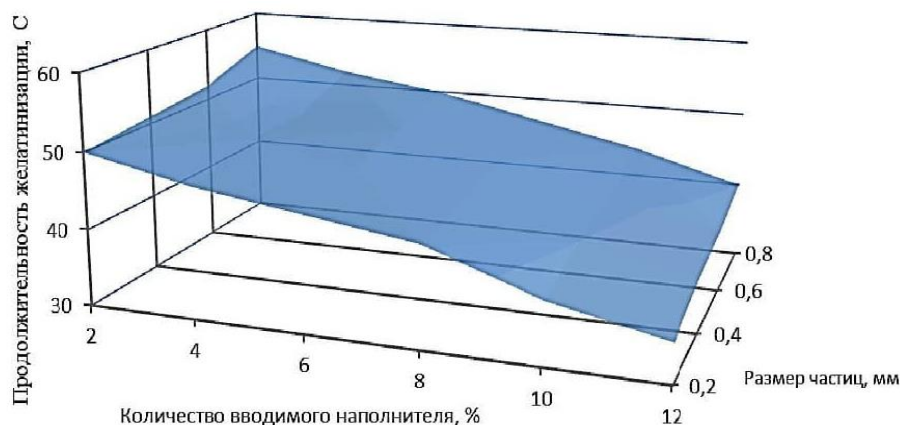


Рисунок 7 – Влияние количества и размера частиц вводимого наполнителя на время желатинизации модифицированного клея на базе смолы КФ-МТ-15.

5 ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований модифицированных клеевых составов были получены следующие результаты: добавление алюмосиликатного наполнителя ускоряет процесс желатинизации за счет каталитического действия оксидов щелочных металлов, содержащихся в алюмосиликатах. Это уменьшает время поликонденсации и позволяет сохранять работоспособность клея КФ-МТ-15 на протяжении 8÷9 часов, что соответствует технологическим нормам. Однако увеличение размера и концентрации частиц алюмосиликата повышает условную вязкость клея с 52 до 95 секунд, что усложняет его нанесение на подложки. В связи с этим рекомендуется ограничить содержание наполнителя до 8 мас.ч. Эти выводы могут послужить основой для дальнейших исследований по оптимизации составов клеев и их применения в деревообрабатывающей промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Blanchet, P., & Pepin, S.** (2021). Trends in chemical wood surface improvements and modifications: A review of the last five years. *Coatings*, 11(12), 1514. <https://doi.org/10.3390/coatings11121514>
2. **Chubinsky, A. N., Varankina, G. S., Rusakov, D. S., & Fedyaev, A. A.** (2016). Plywood gluing technology [Tehnologiya skleivaniya faneri]. St. Petersburg: SPbGLTU, 56 p. (In Russ.).
3. **Machneva, O. P., Pasko, Y. V., Poletaeva, L. P., & Khaidarov, H. J.** (2023). The technology of particle board based on modified phenol-formaldehyde binder [Tehnologiya drevesnostrujechnih plit na osnove modifitsirovannogo fenolformaldegidnogo svyazuyuschego]. *Adhesives. Sealants. Technologies*, (10), 31-35. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2021-0-10-31-35> (In Russ.).
4. **Mannapov, A. R., & Kainov, P. A.** (2022). A review of domestic and foreign research in the field of plywood production technology [Obzor otechestvennih i zarubezhnih issledovaniy v oblasti tehnologii proizvodstva faneri]. *Modern Construction and Architecture*, (2)26, 25-29. <https://doi.org/10.18454/mca.2022.26.4> (In Russ.).
5. **Orji, B. O., & McDonald, A. G.** (2023). Flow, curing and mechanical properties of thermoset resins–wood-fiber blends for potential additive-manufacturing applications. *Wood Material*

- Science & Engineering, 18(4), 1487-1504. <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2155873>
6. **Pasko, Y. V., & Machneva, O. P.** (2023). Properties of fiberboard made using modified carbamide-formaldehyde resin of the brand KFK-SF [Svoistva drevesnovoloknistih плит_izgotovlennih s ispolzovaniem modificirovannoi karbamidoformaldegidnoi smoli marki KFK_SF]. Adhesives. Sealants. Technologies, (2), 2-5. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2023-2-2-5> (In Russ.).
 7. **Pas'ko, Y. V., Machneva, O. P., & Voityuk, V. A.** (2021). Technology of low-toxicity and water-resistant wood chipboard on a modified phenolic binder. Polymer Science. Series D, 14(3), 404-407. <https://doi.org/10.1134/S1995421221030242>.
 8. **Ponomarenko, L. V., & Kantieva, E. V.** (2018). The effect of grinding dust as a filler of urea-formaldehyde adhesives on their technological properties [Vliyanie shlifovalnoi pili kak napolnitelya karbamidoformaldegidnih kleev na ih tehnologicheskie svoistva]. Forestry Journal, (1), 165-175. https://doi.org/10.12737/article_5ab0dfc53f8c83.58064262 (In Russ.).
 9. **Sakibaeva, S. A., Konysbek, J. K., Kim, M. E., Orazymbetova, A. O., & Zhantasova, U. S.** (2018). Investigation of the effect of zeolite fillers on the properties of rubbers [Issledovanie vliyaniya ceolitnih napolnitelei na svoistva rezin]. Scientific Papers of the M.Auezov SKSU, (3) 47, 24-30. URL: <https://auezov.edu.kz> (In Russ.).
 10. **Samaržija-Jovanović, S., Jovanović, V., Jovanović, T., Petković, B., Marković, G., Porobić, S., & Marinović-Cincović, M.** (2022). Thermal behavior of gamma-irradiated urea-formaldehyde composites based on the differently activated montmorillonite K10. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 147(22), 12467-12479. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11450-0>
 11. **Shamaev, V. A.** (2014). Investigation of plywood bonding using nanocrystalline cellulose [Issledovanie skleivaniya faneri s ispolzovaniem nanokristallicheskoj cellyulozi]. Forestry Journal, (1), 151–155. <https://doi.org/10.12737/3360> (In Russ.).
 12. **Tsvetkov, V. E., Machneva, O. P., Kovalenko, M. V., & Yakobashvili, V. D.** (2022). Waterproof plywood based on aminoformaldehyde resin of the AFK-8 brand [Vodostoikaya fanera na osnove amidoformaldegidnoi smoli marki AFK_8]. Adhesives. Sealants. Technologies, (4), 35-38. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2022-0-4-35-38> (In Russ.).
 13. **Tsvetkov, V. E., Nikitin, A. A., Semochkin, Y. A., Tsvetkova, N. N., & Machneva, O. P.** (2022). Properties of composites based on melamine-formaldehyde binding agents. Polymer Science. Series D, 15(1), 49-53. <https://doi.org/10.1134/S199542122201021X>.
 14. **Varankina, G. S., & Chubinsky, A. N.** (2014). Formation of low-toxic glued wood materials [Formirovanie malotoksichnih kleenih drevesnih materialov]. St. Petersburg: Khimizdat, 148 p. (In Russ.).
 15. **Vasilyanova, L. S., & Lazareva, E. A.** (2016). Zeolites in ecology [Ceoliti v ekologii]. News of Science of Kazakhstan, (1)127, 61-85. (In Russ.).
 16. **Zhou, Y., Yang, M., Zheng, Y., Tong, D., Zhou, C., & Yu, W.** (2019). Effect of a novel environmentally friendly additive of polyaspartic acid on the properties of urea formaldehyde resins/montmorillonite. Journal of Applied Polymer Science, 136(41), 48038. <https://doi.org/10.1002/app.48038>