

Г.И. Мальцев, Ю.Л. Юрьев

ПРИМЕНЕНИЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ ЛАТЕКСОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение. Технологические процессы производства целлюлозы и бумаги, а также волокнистых бумагоподобных материалов связаны с потреблением больших количеств воды (150–500 м³/т) и относятся к числу наиболее экологически опасных, поскольку сопровождаются образованием сложных по составу загрязненных сточных вод, содержащих трудноокисляемые вещества и токсичные соединения, сброс которых вызывает устойчивое загрязнение природных водоемов [Sharma et al., 2023; Bagchi et al., 2024; Steephen et al., 2024].

Для уменьшения антропогенного воздействия на окружающую среду предприятий целлюлозно-бумажной промышленности необходимо осуществление комплекса природоохранных мероприятий, включающих разработку экологически чистых (малоотходных и безотходных) технологических процессов, применение нового оборудования и видов сырья, обезвреживание и ликвидацию опасных отходов [Axelrod et al., 2023; Yang et al., 2023; Romani et al., 2024].

Ключевой задачей при создании экологически чистых производств является разработка и внедрение принципиально новых, нетрадиционных технологических процессов и оборудования. Новые технологии позволяют решать проблемы комплексного использования сырьевых и энергетических ресурсов, существенно снижать материалоемкость, энергоемкость и трудоемкость производства за счет широкого использования современных положений физической и коллоидной химии, трактующих процессы взаимодействия ингредиентов волокнистой суспензии – целлюлозных и асбестовых волокон – с дисперсиями синтетических латексов и реагентов на основе канифоли, в частности, с использованием теории устойчивости лиофобных коллоидов Дерягина–Ландау–Фервея–Овербека (ДЛФО) [Дерягин и др., 1985].

При разработке экологически безопасных технологий изготавливают новые конструктивные материалы, в частности, асбестовый картон различного технического назначения (покровные материалы для защиты теплоизоляции трубопроводов и оборудования; биологически стойкая подоснова для линолеума и кровельных материалов; облицовочный ламинат и др.), обладающий высокой негорючестью, устойчивостью в воде и агрессивных средах [Modica et al., 1983; Elovenko, Kräusel, 2019; Obmiński, 2020]. Разра-

батываемые технологии позволяют утилизировать ограниченно используемый низкосортный коротковолокнистый хризотил-асбест, по запасам которого Российская Федерация занимает второе место в мире [Tan et al., 2021; Akylbekov et al., 2023; Avataneo et al., 2023]. Предусматривается использование в качестве регуляторов агрегативной и сорбционной устойчивости дисперсной фазы проклеивающих агентов (синтетические латексы, реагенты на основе канифоли) – смешанных Al-Fe- и Fe-содержащих коагулянтов, полученных из природных видов сырья (нефелины, бокситы, каолины, алуниты) и промышленных отходов (красные шламы производства глинозема, некондиционные железные руды, высокожелезистые бокситы, колчеданные огарки). Они являются альтернативой дорогим сульфату алюминия и гидроксиду алюминия – полупродукту производства металлического алюминия [Şengil A., 1995; Chen et al., 2020; Bakatovich et al., 2022; Zeng et al., 2022; Castoldi et al., 2023; Geng et al., 2023; Yi et al., 2024].

Проклейка – процесс придания бумаге и картону заданной впитывающей способности, являющейся результатом сложных коллоидно-химических взаимодействий волокнистых, гидрофобизирующих, наполняющих и коагулирующих материалов [Губарев, 2000]. Большое влияние на потребительские свойства фабrikата оказывают условия проклейки: агрегативная и адсорбционная устойчивость дисперсий; поверхностное натяжение; вязкость; температура; pH; жесткость производственной воды; степень гидрофобности поверхности частиц и др. [Москвитин, 1974; Энгельгардт и др., 1975; Фляте, 1986].

При изготовлении бумаги и картона из органических волокон механическую прочность листа обуславливают межволоконные связи в бумаге, в первую очередь водородные связи, обеспечивающие три четверти общей прочности межволоконных связей. Наряду с водородными связями известную роль играют силы Ван-дер-Ваальса, а также силы трения между волокнами [Машины, ... 1973; Дубовый, 2000].

При использовании асбестовых волокон, которые сами по себе не образуют прочных межволоконных связей, для придания прочности готовым изделиям в качестве связующего обычно используют синтетические латексы. Проклейка асбестового волокна латексом – сложный процесс, зависящий от многих факторов, связанных между собой. Главное условие высоких показателей асболатексных бумаг и картонов – равномерность осаждения полимера латекса на волокне и высокие адгезионные качества связующего, способствующие образованию прочной связи в системе «волокно–полимер» [Еркова, Чечик, 1983].

Материалы и методика исследования. Цель исследования – влияние концентрации и природы синтетических латексов на физико-механические свойства бумагоподобного материала – асбестового картона. В качестве

связующих рассмотрена возможность применения бутадиен-нитрильных латексов БСНК, БН-30, СКН-40-1ГП, СКН-40ИХ, БН-30К-2, БН-26НГП для проклейки асбестового волокна сорта М-4-20; в качестве коагулянта использовали сульфат алюминия. Бутадиен-нитрильные сополимеры и вулканизаты обладают повышенной адгезией к разным материалам, поэтому их латексы в качестве клеев используют для проклейки волокон. Введение относительно полярного акрилонитрила ($\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CN}$) в состав неполярной бутадиеновой цепи приводит к нерастворимости полимера в алифатических углеводородах. С ростом концентрации в цепи нитрильных звеньев растет энергия когезии полимера, что повышает температуру стеклования. В отличие от неполярных бутадиен-стирольных сополимеров соединения бутадиена с полярным акрилонитрилом совместимы со смолами (продукты конденсации альдегидов с фенолами) и с поливинилхлоридом. Введение в эластомерные композиции смол, поливинилхлорида повышает прочность и жесткость резин. Смолы являются антиоксидантами, а поливинилхлорид придает соединениям огнестойкость.

Навеску 100 г хризотил-асбеста распускали при перемешивании в 0,5 дм^3 воды в течение 5 мин, затем добавляли 10–60 г латекса, после чего через 5 мин вводили раствор коагулянта, содержащий 3–10 г сульфата алюминия. После окончания проклейки в течение 10 мин волокнистую суспензию помещали в лабораторный листоотливной аппарат ТАРПИ. Полученную отливку сушили до постоянного веса, затем определяли основные физико-механические показатели образца асбокартона: разрывная длина (L , м); сопротивление раздиранию (E , мН); сопротивление продавливанию (P_0 , кПа); впитываемость при одностороннем смачивании (G , г/м^2); капиллярная впитываемость (B , мм); степень проклейки (C , с/мм).

Результаты исследования. Прочностные свойства отливок с бутадиен-нитрильными латексами, за исключением БН-26НГП, близки друг к другу: $L_{\text{max}} = 377\text{--}516$ м при малых концентрациях (3 мас.ч.) коагулянта (рис. 1). При большей концентрации (6 мас.ч.) сульфата алюминия прочность выше у образцов с СКН-40-1ГП ($L_{\text{max}} = 427$ м) и БН-30К-2 ($L_{\text{max}} = 559$ м), что объясняется присутствием третьего сомономер – метакриловой кислоты. Для карбоксил-бутадиен-нитрильных латексов карбоксил-содержащий мономер, более равномерно входящий в состав сополимера, чем бутадиен или бутадиен-стирол, повышает адгезию полимера к различным субстратам и создает трехмерную сетку, в частности, у СКН-40-1ГП. Последнее свойство реализуется образованием солевых связей при введении в латекс оксидов поливалентных металлов, полиаминов, а также участием полимера в трехмерной сетке, создаваемой при конденсации введенных в латекс смол – формальдегидных, эпоксидных и др.

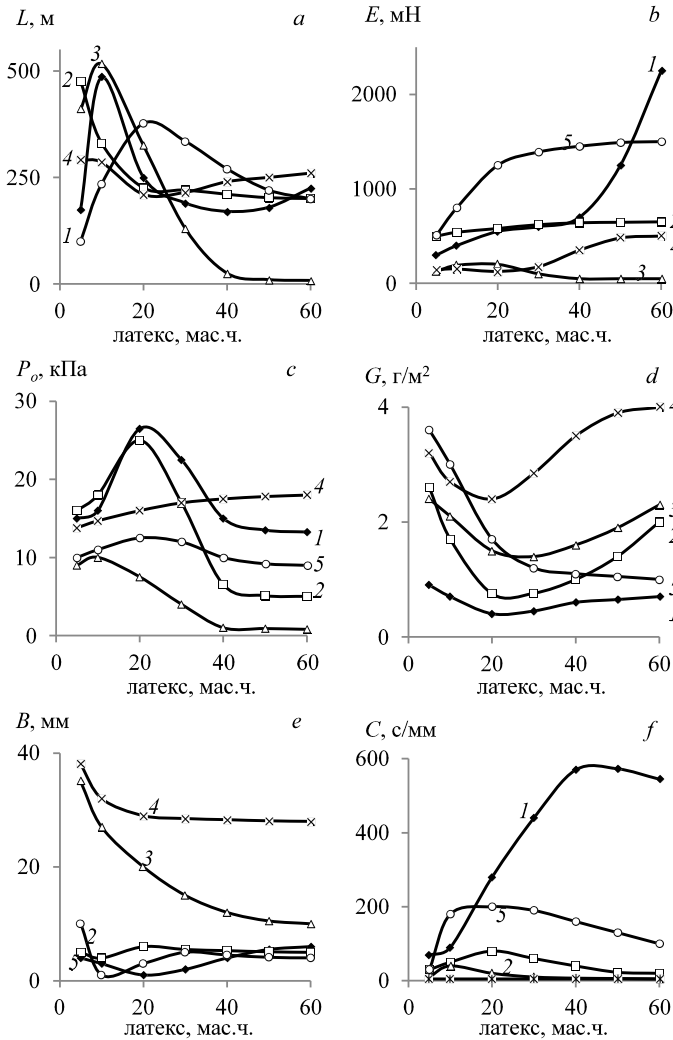


Рис. 1. Зависимость показателей асбокартона от содержания латексов при $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (3 мас.ч.): БН-30 (1); СКН-40-1ГП (2); БН-30К-2 (3); БН-26НГП (4); БСНК (5)

Fig. 1. Dependence of the indicators of asbestos cardboard on the latex content at $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (3 wt.h.): BN-30 (1); SKN-40-1GP (2); BN-30K-2 (3); BN-26NGP (4); БСНК (5)

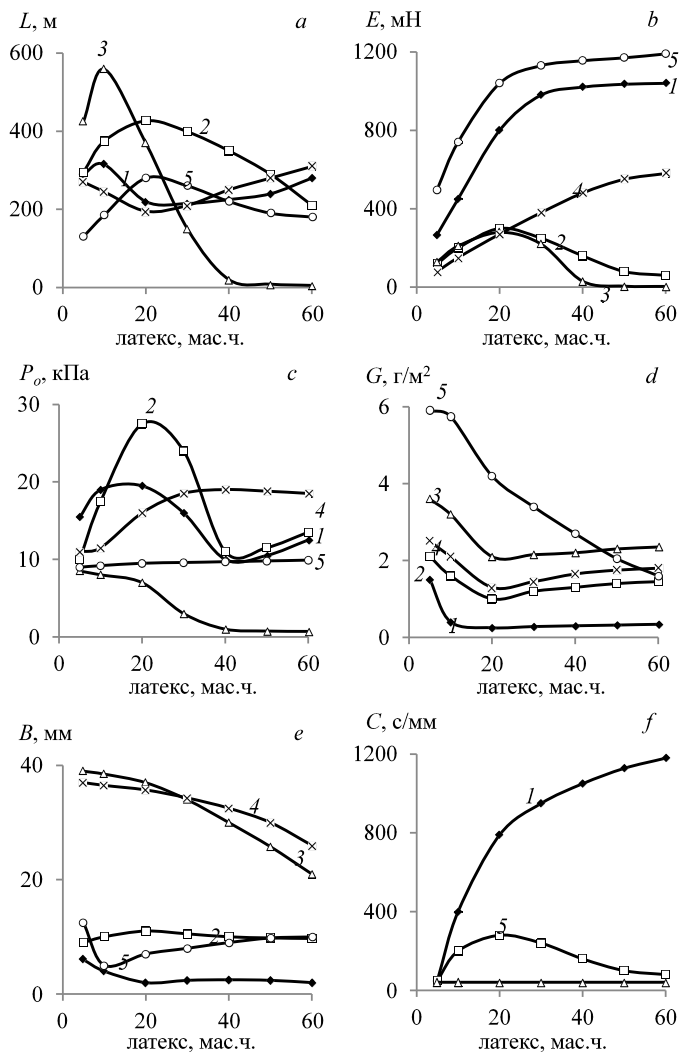


Рис. 2. Зависимость показателей асбокартона от содержания латексов при $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (6 мас.ч.):

БН-30 (1); СКН-40-1ГП (2); БН-30К-2 (3); БН-26НГП (4); БСНК (5)

Fig. 1. Dependence of the indicators of asbestos cardboard on the latex content at $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (6 wt.h.):

BN-30 (1); SKN-40-1GP (2); BN-30K-2 (3); BN-26NGP (4); BSNK (5)

Максимальные значения L (рис. 1а, 2а) выявлены при содержании латексов 10–20 мас.ч., кроме БН-26НГП, стабилизированного неионогенным эмульгатором ОП-10, для которого получено минимальное $L_{min} = 325/195$ м при содержании связующего 20 мас.ч. и коагулянта 3/6 мас.ч., что обусловлено различным механизмом коагуляции латексов, стабилизированных ионогенными и неионогенными ПАВ, когда коагулирующее действие электролита связано не со снижением барьера электростатического отталкивания, а с дегидратацией и высаливанием эмульгатора в адсорбционных слоях. Взаимодействие дегидратированных адсорбционных слоев ведет к агрегации частиц и коагуляции латекса. Наличие экстремальной зависимости значений L от содержания бутадиен-нитрильных латексов, проходящей через максимум, связано с достаточно равномерным осаждением связующих на волокне при малых концентрациях латексов (5–20 мас.ч.) и коагулянта (3–6 мас.ч.). При содержании в композиции БН-30К-2 свыше 20 мас.ч., стабилизированного бензилсульфаниловым калием, происходит интенсивная гомокоагуляция латекса и комкование бумажной массы, что делает невозможным отлив асбокартона.

Соппротивление раздиранию E увеличивается при возрастании концентрации бутадиен-нитрильных латексов в исходной массе (кривые 1,3–5 рис. 1б, 2б). С увеличением плотности бумаги и уменьшением ее растяжения сила (работа) для раздирания листа уменьшается из-за концентрации силы. При увеличении содержания связующего, гомокоагуляции латекса и комковании массы структура асбокартона разупорядочивается, удельный объем (пухлость) листа растет за счет увеличения грубости волокон, которые лучше распределяют прилагаемое к испытываемому образцу усилие, и E возрастает. $E_{max} = 1312–1560$ мН для БСНК, содержащего в сополимере 32 мас.ч. стирола, что согласуется с данными о повышении прочностных свойств невулканизированных пленок при введении стирола в структуру бутадиен-нитрильного сополимера.

Прочность образцов на продавливание P_0 согласуется с прочностью на разрыв L : при увеличении количества латексов до 20 мас.ч. растет число межволоконных связей, средняя длина волокон и значения P_0 (кривые 1–3, 5 рис. 1с; кривые 1,2 рис. 2с). При большом количестве связующего P_0 уменьшается, как и L , вследствие преобладания гомокоагуляции латексов и комкования массы. Лучшими показателями P_0 обладают отливки с латексами (20 мас.ч.), кПа: 20–27 – БН-30; 25–28 – СН-40-1ГП.

Показатели гидрофобности асбокартона G (кривые 1–4 рис. 1д; кривые 1,2,4 рис. 2д) и B (кривые 1,4,5 рис. 1е; кривые 1,5 рис. 2е) уменьшаются до

минимума в интервале содержания связующего 5–20 мас.ч. не только из-за уменьшения пухлости отливок, но и за счет равномерного осаждения латекса на волокне, G_{min} , г/м² / B_{min} , мм: 0,1–0,3/1,2–1,8 – БН-30; 1,7–4,2/0,4–4 – БСНК. При содержании >20 мас.ч. нитрильных латексов, имеющих в составе сополимера полярные сомомеры (акрилонитрил, метакрилат) и увеличивающих сродство к воде, гидрофобность изделий ухудшается. Степень проклейки C возрастает с увеличением содержания (5–20 мас.ч.) нитрильных латексов, достигая максимума, с/мм: 292 – БСНК; 983 – БН-30. Итак, все нитрильные латексы, кроме БН-26НГП с ОП-10, можно использовать для получения асбокартона с высокими прочностными и гидрофобными свойствами, по совокупности которых лучшие показатели установлены для БН-30 и БСНК. Латекс БН-30 с низкой агрегативной устойчивостью эмульгирован парафином калия и в небольших количествах способен равномерно осаждаться на минеральном волокне. Латекс БСНК придает асбокартону низкую влагоемкость и высокое сопротивление продавливанию P_o , что обусловлено присутствием стирола в бутадиен-нитрильном сополимере, повышающем прочность невулканизированных пленок.

Выводы. Прочностные свойства отливок с бутадиен-нитрильными латексами, кроме БН-26НГП, стабилизированного неионогенным эмульгатором ОП-10, близки друг к другу: $L_{max} = 377–516$ м при малых концентрациях (3 мас.ч.) коагулянта. При большей концентрации (6 мас.ч.) сульфата алюминия прочность выше у образцов с СКН-40-1ГП ($L_{max} = 427$ м) и БН-30К-2 ($L_{max} = 559$ м), что объясняется присутствием третьего сомомера – метакриловой кислоты.

Наличие экстремальной зависимости значений L от содержания латексов, проходящей через максимум, связано с достаточно равномерным осаждением связующих на волокне при малых концентрациях связующих (5–20 мас.ч.) и коагулянта (3–6 мас.ч.). При содержании в композиции латекса БН-30К-2 в количестве свыше 20 мас.ч., стабилизированного бензилсульфаниловым калием, происходит интенсивная гомокоагуляция латекса и комкование бумажной массы, что делает невозможным качественный отлив асбокартона.

Показатели гидрофобности асбокартона G (кривые 1–4 рис. 1d; кривые 1,2,4 рис. 2d) и B (кривые 1,4,5 рис. 1e; кривые 1,5 рис. 2e) уменьшаются до минимума в интервале содержания связующего 5–20 мас.ч. не только из-за уменьшения пухлости отливок, но и за счет равномерного осаждения латекса на волокне. G_{min} , г/м² / B_{min} , мм: 0,1–0,3/1,2–1,8 – БН-30; 1,7–4,2/0,4–4 – БСНК. При содержании >20 мас.ч. нитрильных латексов, имеющих в со-

ставе сополимера полярные сомомеры (акрилонитрил, метакрилат) и увеличивающих сродство к воде, гидрофобность изделий ухудшается.

Исследованные нитрильные латексы, кроме БН-26НГП с ОП-10, можно использовать для получения асбокартона с высокими прочностными и гидрофобными свойствами, по совокупности которых лучшие показатели установлены для БН-30 и БСНК. Латекс БН-30 с низкой агрегативной устойчивостью эмульгирован парафином калия и в небольших количествах способен равномерно оседаться на минеральном волокне. Латекс БСНК придает асбокартону низкую влагоемкость и высокое сопротивление продавливанию P_0 , что обусловлено присутствием стирола в бутадиен-нитрильном сополимере, повышающем прочность невулканизированных пленок.

Вклад авторов. Мальцев Г.И. – формулировка задачи исследований, выполнение экспериментов, анализ и обобщение полученных данных (70%); Юрьев Ю.Л. – проведение анализов по определению физико-механических показателей опытных отливок асбокартона (30%).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Губарев А.А. Проклейка бумаги и картона в нейтральной среде с использованием сернокислого алюминия: автореф. дис... канд. техн. наук. Минск: БГТУ, 2000. 23 с.

Дерягин Б.В., Чураев М.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. М.: Наука, 1985. 398 с.

Дубовый В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГЛТУ, 2000. 370 с.

Еркова Л.Н., Чечик О.С. Латексы. Л.: Химия, 1983. 224 с.

Машины, процессы и оборудование целлюлозно-бумажных производств: Сборник статей. Вып. 29. Л.: ЛТИ ЦБП, 1973. 185 с.

Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 192 с.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 680 с.

Энгельсгардт Г., Гранич К., Руммер К. Проклейка бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 224 с.

Akylbekov Y., Shevko V., Karatayeva G. Thermodynamic prediction of the possibility of comprehensive processing chrysotile-asbestos waste // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023. Vol. 8. Art. no. 100488. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100488

Avataneo C., Petriglieri J.R., Capella S. Chrysotile asbestos migration in air from contaminated water: An experimental simulation // Journal of Hazardous Materials. 2022. Vol. 424. Part C. Art. no. 127528. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127528

Axelrod L., Charron P., Tahir I. The effect of pulp production times on the characteristics and properties of hemp-based paper // *Materials Today Communications*. 2023. Vol. 34. Art. no. 104976. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2022.104976

Bagchi S.K., Patnaik R., Rawat I. Beneficiation of paper-pulp industrial wastewater for improved outdoor biomass cultivation and biodiesel production using *Tetradesmus obliquus* (Turpin) Kützing // *Renewable Energy*. 2024. Vol. 222. Art. no. 119848. DOI: 10.1016/j.renene.2023.119848

Bakatovich A., Gaspar F., Boltrushevich N. Thermal insulation material based on reed and straw fibres bonded with sodium silicate and rosin // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 352. Art. no. 129055. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129055

Castoldi R.S., Liebscher M., Souza L.M.S. Effect of polymeric fiber coating on the mechanical performance, water absorption, and interfacial bond with cement-based matrices // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 404. Art. no. 133222. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133222

Chen J., Li X., Cai W. High-efficiency extraction of aluminum from low-grade kaolin via a novel low-temperature activation method for the preparation of poly-aluminum-ferric-sulfate coagulant // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 257. Art. no. 120399. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120399

Elovenko D., Kräusel V. The study of thermal conductivity of asbestos cardboard and fire clay powder to assess the possibility of their application in prefabricated structures of cylindrical housings of pressure vessels // *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Part 5. P. 2389–2395. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.041

Geng Y., Nie Y., Du H. Coagulation performance and floc characteristics of Fe–Ti–V ternary inorganic coagulant for organic wastewater treatment // *Journal of Water Process Engineering*. 2023. Vol. 56. Art. no. 104344. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104344

Modica G., Giuffrè L., Montoneri E. Electrolytic separators from asbestos cardboard: A flexible technique to obtain reinforced diaphragms or ion-selective membranes // *International Journal of Hydrogen Energy*. 1983. Vol. 8, iss. 6. P. 419–435. DOI: 10.1016/0360-3199(83)90163-5

Obmiński A. Asbestos in building and its destruction // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 249. Art. no. 118685. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118685

Romani A., Del-Río P.G., Rubira A. Co-valorization of discarded wood pinchips and sludge from the pulp and paper industry for production of advanced biofuels // *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 209. Art. no. 117992. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117992

Şengil A. The utilization of alunite ore as a coagulant aid // *Water Research*. 1995. Vol. 29, iss. 8. P. 1988–1992. DOI: 10.1016/0043-1354(94) 00534-E

Sharma D., Sahu S., Singh G. An eco-friendly process for xylose production from waste of pulp and paper industry with xylanase catalyst // *Sustainable Chemistry for the Environment*. 2023. Vol. 3. Art. no. 100024. DOI: 10.1016/j.scenv.2023.100024

Stephen A., Preethi V., Annenewmy B. Solar photocatalytic hydrogen production from pulp and paper wastewater // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024. Vol. 52. Part A. P. 1393–1404. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.03.381

Tan Y., Zou Z., Qu J. Mechanochemical conversion of chrysotile asbestos tailing into struvite for full elements utilization as citric-acid soluble fertilizer // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 283. Art. no. 124637. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124637

Yang M., Li J., Wang S. Status and trends of enzyme cocktails for efficient and ecological production in the pulp and paper industry // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 418. Art. no. 138196. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.138196

Yi J., Chen Z., Xu D. Preparation of a coagulant of polysilicate aluminum ferric from foundry dust and its coagulation performance in treatment of swine wastewater // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 434. Art. no. 140400. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.140400

Zeng H., Tang H., Sun W. Deep dewatering of bauxite residue via the synergy of surfactant, coagulant, and flocculant: Effect of surfactants on dewatering and settling properties // *Separation and Purification Technology*. 2022. Vol. 302. Art. no. 122110. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122110

References

Akylbekov Y., Shevko V., Karatayeva G. Thermodynamic prediction of the possibility of comprehensive processing chrysotile-asbestos waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2023, vol. 8, art. no. 100488. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100488

Avataneo C., Petriglieri J.R., Capella S. Chrysotile asbestos migration in air from contaminated water: An experimental simulation. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, vol. 424, part C, art. no. 127528. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127528

Axelrod L., Charron P., Tahir I. The effect of pulp production times on the characteristics and properties of hemp-based paper. *Materials Today Communications*, 2023, vol. 34, art. no. 104976. DOI:10.1016/j.mtcomm.2022.104976

Bagchi S.K., Patnaik R., Rawat I. Beneficiation of paper-pulp industrial wastewater for improved outdoor biomass cultivation and biodiesel production using *Tetrademus obliquus* (Turpin) Kützing. *Renewable Energy*, 2024, vol. 222, art. no. 119848. DOI: 10.1016/j.renene.2023.119848

Bakatovich A., Gaspar F., Boltrushevich N. Thermal insulation material based on reed and straw fibres bonded with sodium silicate and rosin. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 352, art. no. 129055. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129055

Castoldi R.S., Liebscher M., Souza L.M.S. Effect of polymeric fiber coating on the mechanical performance, water absorption, and interfacial bond with cement-based matrices. *Construction and Building Materials*, 2023, vol. 404, art. no. 133222. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2023.133222

Chen J., Li X., Cai W. High-efficiency extraction of aluminum from low-grade kaolin via a novel low-temperature activation method for the preparation of poly-aluminum-ferric-sulfate coagulant. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 257, art. no. 120399. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120399

Deryagin B.V., Churaev M.V., Muller V.M. Surface forces. Moscow: Nauka, 1985. 398 p. (In Russ.)

Dubovy V.K. Paper-like composite materials based on mineral fibers: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. St. Petersburg: SPbSFTU, 2000. 370 p. (In Russ.)

Elovenko D., Kräusel V. The study of thermal conductivity of asbestos cardboard and fire clay powder to assess the possibility of their application in prefabricated structures of cylindrical housings of pressure vessels. *Materials Today: Proceedings*, 2019, vol. 19, part 5, pp. 2389–2395. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.041

Engelhardt G., Border K., Ritter K. Paper sizing. Moscow: Forest industry, 1975. 224 p. (In Russ.)

Flyate D.M. Properties of paper. Moscow: Forest industry, 1986. 680 p. (In Russ.)

Geng Y., Nie Y., Du H. Coagulation performance and floc characteristics of Fe–Ti–V ternary inorganic coagulant for organic wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 2023, vol. 56, art. no. 104344. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104344

Gubarev A.A. Gluing of paper and cardboard in a neutral environment using aluminum sulfate: author's abstract. Diss.... Candidate of Technical Sciences. Minsk: BSTU, 2000. 23 p. (In Russ.)

Machines, processes and equipment of pulp and paper industries: collection of articles. Issue 29. Leningrad: LTI CBP, 1973. 185 p. (In Russ.)

Modica G., Giuffrè L., Montoneri E. Electrolytic separators from asbestos cardboard: A flexible technique to obtain reinforced diaphragms or ion-selective membranes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1983, vol. 8, iss. 6, pp. 419–435. DOI: 10.1016/0360-3199(83)90163-5

Moskvitin N.I. Physico-chemical bases of gluing and sticking processes. M.: Forest industry, 1974. 192 p. (In Russ.)

Obmiński A. Asbestos in building and its destruction. *Construction and Building Materials*, 2020, vol. 249, art. no. 118685. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118685

Romani A., Del-Rio P.G., Rubira A. Co-valorization of discarded wood pinchips and sludge from the pulp and paper industry for production of advanced biofuels. *Industrial Crops and Products*, 2024, vol. 209, art. no. 117992. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117992

Şengil A. The utilization of alunite ore as a coagulant aid. *Water Research*, 1995, vol. 29, iss. 8, pp. 1988–1992. DOI: 10.1016/0043-1354(94)00534-E

Sharma D., Sahu S., Singh G. An eco-friendly process for xylose production from waste of pulp and paper industry with xylanase catalyst. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 2023, vol. 3, art. no. 100024. DOI: 10.1016/j.scenv.2023.100024

Stephen A., Preethi V., Annenewmy B. Solar photocatalytic hydrogen production from pulp and paper wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, vol. 52, part A, pp. 1393–1404. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.03.381

Tan Y., Zou Z., Qu J. Mechanochemical conversion of chrysotile asbestos tailing into struvite for full elements utilization as citric-acid soluble fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 283, art. no. 124637. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124637

Yang M., Li J., Wang S. Status and trends of enzyme cocktails for efficient and ecological production in the pulp and paper industry. *Journal of Cleaner Production*, 2023, vol. 418, art. no. 138196. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138196

Yerkova L.N., Chechik O.S. Latexes. Leningrad: Chemistry, 1983. 224 p. (In Russ.)

Yi J., Chen Z., Xu D. Preparation of a coagulant of polysilicate aluminum ferric from foundry dust and its coagulation performance in treatment of swine wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 2024, vol. 434, art. no. 140400. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.140400

Zeng H., Tang H., Sun W. Deep dewatering of bauxite residue via the synergy of surfactant, coagulant, and flocculant: Effect of surfactants on dewatering and settling properties. *Separation and Purification Technology*, 2022, vol. 302, art. no. 122110. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122110

Материал поступил в редакцию 31.01.2024

Мальцев Г.И., Юрьев Ю.Л. Применение бутадиен-нитрильных латексов при изготовлении бумагоподобных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 252. С. 382–395. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.382-395

Цель исследования – влияние концентрации и природы синтетических бутадиен-нитрильных латексов на физико-механические свойства бумагоподобного материала на основе минеральных волокон. Методология проведения работы заключалась в изготовлении и испытании лабораторных образцов отливок асбестового картона, полученных из композиции состава, мас. ч.: 100 – асбестовое волокно сорта М-4-20; 5–60 – бутадиен-нитрильные латексы БСНК, БН-30, СКН-40-1ГП, СКН-40ИХ, БН-30К-2, БН-26НГП; 3–6 – сульфат алюминия в качестве коагулянта для проклейки асбестового волокна сорта М-4-20. Механические и гидрофобные свойства полученного материала характеризуют физико-механические показатели: разрывная длина (L , м); сопротивление раздиранию (E , мН); сопротивление продавливанию (P_0 , кПа); впитываемость при одностороннем смачивании (G , г/м²); капиллярная впитываемость (B , мм); степень проклейки (C , с/мм). Результаты работы: прочностные свойства отливок с бутадиен-нитрильными латексами, за исключением БН-26НГП, близки друг к другу: $L_{max} = 377$ –516 м при малых концентрациях (3 мас.ч.) коагулянта. При большей концентрации (6 мас.ч.) сульфата алюминия прочность выше у образцов с СКН-40-1ГП ($L_{max} = 427$ м) и БН-30К-2 ($L_{max} = 559$ м), что объясняется присутствием третьего сомономера – метакриловой кислоты. Для карбоксил-бутадиен-нитрильных латексов карбоксил-содержащий мономер, более равномерно входящий в состав сополимера, чем бутадиен или бутадиен-стирол, повышает адгезию полимера к различным субстратам и создает трехмерную сетку, в частности, СКН-40-1ГП. Последнее свойство реализуется

образованием солевых связей при введении в латекс оксидов поливалентных металлов, полиаминов, а также участием полимера в трехмерной сетке. Исследованные нитрильные латексы можно использовать для получения асбокартона с высокими прочностными и гидрофобными свойствами, совокупности которых лучшие показатели установлены для БН-30 и БСНК.

Ключевые слова: латекс, асбестовый картон, разрывная длина, сопротивление раздиранию, сопротивление продавливанию, впитываемость при одностороннем смачивании и капиллярная, степень проклейки.

Maltsev G.I., Yuryev Yu.L. The use of butadiene-nitrile latexes in the manufacture of paper-like materials. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2025, iss. 252, pp. 382–395 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.382-395

The aim of the study is to influence the concentration and nature of synthetic butadiene–nitrile latexes on the physical and mechanical properties of a paper-like material based on mineral fibers. The methodology of the work consisted in the manufacture and testing of laboratory samples of asbestos cardboard castings obtained from the composition of the composition, wt. h.: 100 – asbestos fiber grade M-4-20; 5–60 – butadiene-nitrile latexes BSNK, BN-30, SKN-40-1GP, SKN-40IH, BN-30K-2, BN-26NGP; for sizing M-4-20 grade asbestos fiber; 3–6 – aluminum sulfate as a coagulant. The mechanical and hydrophobic properties of the resulting material characterize the physico-mechanical parameters: breaking length (L , m); tear resistance (E , mN); penetration resistance (P_o , kPa); absorbency with unilateral wetting (G , g/m²); capillary absorbency (B , mm); degree of sizing (C , s/mm). Results of the work: the strength properties of castings with butadiene-nitrile latexes, with the exception of BN-26NGP, are close to each other: $L_{\max} = 377\text{--}516$ m, at low concentrations (3 wt.h.) of coagulant. At a higher concentration (6 wt.h.) of aluminum sulfate, the strength is higher in samples with SKN-40-1GP ($L_{\max} = 427$ m) and BN-30K-2 ($L_{\max} = 559$ m), which is explained by the presence of a third comonomer, methacrylic acid. For carboxyl-butadiene-nitrile latexes, carboxyl-containing monomer, which is more evenly part of the copolymer than butadiene or styrene-butadiene, increases the adhesion of the polymer to various substrates and creates a three-dimensional grid, in particular SKN-40-1GP. The latter property is realized by the formation of salt bonds when polyvalent metal oxides and polyamines are introduced into latex, as well as the participation of the polymer in a three-dimensional grid. **Conclusions:** the studied nitrile latexes can be used to produce asbestos cardboard with high strength and hydrophobic properties, according to which the best indicators were established for BN-30 and BSNK.

Keywords: latex, asbestos cardboard, breaking length, tearing resistance, punching resistance, absorbency during unilateral wetting and capillary, degree of sizing.

МАЛЬЦЕВ Геннадий Иванович – профессор кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, профессор. ORCID: 0000-0002-0750-0070.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: maltsewg@yandex.ru

MALTSEV Gennady I. – DSc (Technical), Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forestry University. ORCID: 0000-0002-0750-0070.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: maltsewg@yandex.ru

ЮРЬЕВ Юрий Леонидович – заведующий кафедрой химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов Уральского государственного лесотехнического университета, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. ORCID: 0000-0002-1187-7401.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: charekat@mail.ru

YURIEV Yuri L. – DSc (Agricultural), Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forestry University. ORCID: 0000-0002-1187-7401.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: charekat@mail.ru