

УДК 661.179

DOI: 10.15372/ChUR2024555

EDN: TKQSLQ

Создание дезинфицирующих эмульсий пролонгированного действия на основе полиакриламидных полимеров и функциональных добавок

А. С. АВЕРКИНА¹, А. В. СИВЦЕВА¹, В. А. ВАЛЬЦИФЕР¹, И. Н. ФЕКЛИСТОВА², И. В. ВАЛЬЦИФЕР¹¹Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
Пермь, Россия

E-mail: Anastasiya.Av11@yandex.ru

²Белорусский государственный университет,
Минск, Республика Беларусь

(Поступила 06.10.2023; после доработки 07.11.2023; принята к печати 22.12.2023)

Аннотация

Описаны принципы создания водно-органической дезинфицирующей эмульсии (ВОДЭ), которая при нанесении на различные виды поверхности может образовывать пленку, обладающую пролонгированным бактериостатическим/бактерицидным эффектом. Созданная композиция на основе полиакриламида и специальных добавок при нанесении на обрабатываемую поверхность капельным способом образует прочную пленку, что, в свою очередь, способствует обеспечению высоких санитарных и противоэпидемических мер. Созданная на поверхности пленка может быть удалена путем смачивания водой и последующего протирания, что не приводит к нарушению общего режима дезинфекции. Водно-органическая дезинфицирующая эмульсия представляет собой композицию на основе полиакриламида, поверхностно-активного вещества, многоатомного спирта (глицерина) и сульфата цинка/меди. Исследованы факторы, отвечающие за равномерность пленкообразования ВОДЭ. Определены критерии улучшения реологических и технологических свойств (смачиваемость, растекаемость, влагопоглощение) в условиях окружающей среды. Установлено, что повышение растекаемости и прочностных свойств водорастворимых полимерных пленок достигается путем введения в состав поверхностно-активных веществ (особенно неионогенной природы) и многоатомного спирта. При помощи моделирования процесса истирания изучены механические параметры водорастворимых полимерных биоцидных пленок. Исследован дезинфицирующий эффект разработанной водно-органической пленкообразующей композиции по отношению к штаммам микроорганизмов *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*. Доказано, что обеспечение бактериостатических и бактерицидных свойств объясняется не только введением в состав биоцида сульфата меди или сульфата цинка, но и ингибирующими свойствами самих полиакриламидов различных марок. Установлено, что полиакриламид, несмотря на содержание в своем составе углерода и азота, не является доступным источником питания для клеток патогенных микроорганизмов.

Ключевые слова: биоцид, полиакриламид, пролонгированное действие, ингибирование микроорганизмов

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение своевременных и эффективных санитарных и противоэпидемических мероприятий, а также снижение скорости ротации дез-

инфицирующего агента является важнейшей и перспективной задачей в технологии охраны здоровья населения. Несмотря на успешность создаваемых антибактериальных материалов, существующие на сегодняшний день разработ-

ки не могут обеспечить эффективный бактериостатический/бактерицидный эффект при их однократном применении [1–4]. Следовательно, перспективным направлением решения проблемы может стать создание покрывных материалов, периодически наносимых на обрабатываемую контактную поверхность. Санитарная обработка контактной поверхности может быть осуществлена с помощью водно-спиртовых и спиртовых растворов истинных дезинфицирующих агентов. Опытным путем было установлено, что подобные дезинфицирующие эмульсии при высыхании не способны образовывать пленочный слой, а распределяются на поверхности в виде локальных включений, склонных к удалению посредством механической нагрузки (трения). Такие покрывные материалы обладают выраженным, но краткосрочным антибактериальным эффектом вследствие быстрой дезактивации дезинфицирующего агента [5–8]. Предотвращение инактивации дезинфицирующих агентов может быть достигнуто за счет введения в состав дезинфицирующей композиции связующего вещества (водорастворимого полимера), предотвращающего пространственную агрегацию активных веществ и отвечающего за формирование биконтинуального слоя. Однако накопленные к настоящему времени данные [9–12] не позволяют установить четких и однозначных закономерностей влияния вводимых в состав полимерных пленок веществ на их структурно-текстурные характеристики и эксплуатационные показатели. Кроме того, практически нет сведений о формировании и поведении покрывного материала, представляющего собой композицию на основе низко- и высокомолекулярных органических соединений и неорганических частиц. Нерешенной проблемой является отсутствие информации о закономерностях поведения пленкообразующих составов в условиях окружающей среды, а именно отсутствие данных о режимах высыхания, параметрах стягивания, об усадке и стойкости к износу получаемых пленок. Таким образом, получение теоретических основ и практических результатов в данной области становится перспективным и наукоемким направлением.

Цель работы – создание на основе полиакриламида прочного к механическим воздействиям и стабильного пленкообразующего покрытия для пролонгированного действия в реальных условиях окружающей среды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объекты исследования

В качестве исходных полимеров для формирования тонких пленок были выбраны четыре вида полиакриламида (ПАА) производства ЗАО “Соленис Технолоджис МСП” (Россия):

– анионные ПАА марок Praestol 2530 и Praestol 2510,

– катионные ПАА марок Praestol 857 BS и Praestol 806 BC.

Далее для ПАА различных марок использовано обозначение “Praestol XXX”.

Для изменения реологии (деформации) пленок и их растекания на поверхности использован набор поверхностно-активных веществ (ПАВ): Stepanate SCS 40-E, Mirapol Surf-S 480 PF, Antarox L 64 EO/PO, Rhodafac H 66, Stepantex DC 90, Mackamine 654, Antarox L 61, Makon NF 12, Bioterg AS-40 K-SB, Ammonyx LO, Mackamin LA, Antarox FM 33 (Solvay, Бельгия), СинтаНор™ АЛМ-7 (ЗХК Экотех, Россия). Глицерин ($C_3H_8O_3$, 99 %, Sigma-Aldrich, Германия) использован в качестве пластификатора, предотвращающего растрескивание пленки биоцида, образующейся на обрабатываемой поверхности, и повышающего механическую прочность полимерной пленки. Сульфат цинка/сульфат меди (98 %, Sigma-Aldrich, Германия) применен для обеспечения и увеличения бактериостатического и бактерицидного действия.

Приготовление водных растворов компонентов пленкообразующего биоцида

Замешивание композиций осуществлено с помощью магнитного перемешивающего устройства WiseStir® SMSH-3 (DAIHAN Scientific Co., Ltd., Республика Корея) при скорости перемешивания 400–500 об/мин в течение 4–5 ч и комнатной температуре.

Определение смачиваемости поверхности

Краевой угол смачивания исследован на гониометре DSA100 (Krüss, Германия) методом лежащей капли. В методе лежащей капли измеряется угол между твердой поверхностью и жидкостью в точке контакта трех фаз. Соотношение сил межфазного и поверхностного натяжения в точке контакта трех фаз может описываться уравнением Юнга, на базе которого определяется краевой угол.

Определение влагопоглощительной способности

Готовые растворы полимерных биоцидов наносили на диски из нержавеющей стали и высушивали в сушильном шкафу при температуре 50 °С в течение 2 сут до постоянной массы. Для определения влагопоглощения пленки помещали в эксикаторы с различной влажностью и измеряли увеличение массы в зависимости от времени выдержки при 20 °С.

Необходимая влажность в эксикаторе достигалась за счет использования насыщенных водных растворов неорганических солей. Для испытаний были подготовлены эксикаторы с влажностью 95 % (раствор $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), 77 % (раствор NH_4Cl), 66 % (раствор NaNO_2) и 42 % (раствор $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) [13].

Зависимость влагопоглощения от времени можно описать выражением [13]:

$$w = w'(1 - e^{-kt})$$

где w – текущее значение влагопоглощения, %; w' – равновесное влагопоглощение, %; t – время, ч; k – константа уравнения. Константа k вычислена с помощью метода наименьших квадратов.

Определение износостойкости разработанных материалов

Износостойкость оценивалась по относительной потере массы (Δm) от времени истирающего воздействия, которая рассчитывалась по формуле:

$$\Delta m = \frac{m_n - m_i}{m_n}$$

где m_i – текущее значение массы пленки, г; m_n – начальная масса пленки, г.

Аппроксимация экспериментальных данных проводилась с помощью метода наименьших квадратов уравнением:

$$\Delta m = m'(1 - e^{-kt})$$

где Δm – текущее значение относительной потери массы, г; m' – максимальное значение относительной потери массы, г; t – время, ч; k – константа уравнения.

Определение механических характеристик на разрыв

Механические испытания образцов полученных материалов проводили на универсальной испытательной машине Instron 3365 (Великобритания) при скорости растяжения $v = 0.1 \text{ с}^{-1}$ и температуре 25 ± 1 °С согласно ГОСТ ISO 37-2013.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимальная концентрация ПАА в водном растворе определена исходя из принципа обеспечения капельного нанесения раствора на твердую поверхность и последующей способности образовывать непрерывные полимерные пленки. В лабораторных условиях исследуемые биоциды наносились на поверхность через триггер-распылитель жидкостей. Данный способ является наиболее удобным при обработке больших поверхностей. В ходе проведения исследования было установлено, что добавление ПАА изменяет характер распыления, т. е. при сохранении постоянной величины щели триггера возрастал размер капли по мере увеличения массовой доли ПАА в составе. Таким образом, экспериментальным путем было определено содержание ПАА в составе биоцида. По результатам исследования установлено (табл. 1), что концентрация ПАА марок Praestol XXX в водном растворе, обеспечивающая необходимое капельное распыление, равна 0.075 мас. % и не зависит от марки вещества.

Для определения зависимости смачиваемости поверхности от марки ПАА проведено измерение краевого угла смачивания 0.075%-х растворов четырех марок ПАА на стальной пластинке, алюминиевой фольге и фторопластовой пленке (табл. 2).

Установлено, что величины краевого угла смачивания для всех видов ПАА имеют значения более 60.0° и находятся в диапазоне: (84.8±2.5)° для стальной пластинки, (80.4±3.2)° для алюминиевой фольги, (101.3±1.7)° для фторопластовой пленки. Результаты измерений свидетельствуют

ТАБЛИЦА 1

Влияние содержания полиакриламида (ПАА) марок Praestol XXX на эффективность распыления и пленкообразования

Критерий отбора	Содержание ПАА в водном растворе, мас. %			
	0.025	0.050	0.075	0.100
Распыление	мелкокапельное	мелкокапельное	мелкокапельное	струйное
Пленкообразование	Нет	Нет	Да	Да

ТАБЛИЦА 2

Краевые углы смачивания 0.075%-х растворов полиакриламидов (ПАА) марок Praestol XXX, град

Поверхность	XXX				Вода
	857 BS	806 BC	2530	2510	
Металлическая пластинка	86.68	82.24	82.94	87.42	84.54
Алюминиевая фольга	79.54	77.12	82.74	82.08	76.97
Фторопластовая пленка	100.44	101.05	100.55	102.97	104.68

ТАБЛИЦА 3

Краевые углы смачивания капель водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) на различных поверхностях, град

ПАВ	Поверхность	
	Фторопластовая пленка	Стекло
Дистиллированная вода	104.68	34.36
Stepanate SCS 40-E	97.88	36.83
Mirapol Surf-S 480 PF	96.84	38.08
Antarox L 64 EO/PO	95.59	50.22
Rhodafac H 66	93.83	36.78
Stepantex DC 90	93.14	30.99
Mackamine 654	90.96	41.42
Antarox L 61	90.67	23.32
Makon NF 12	90.33	36.31
Bioterg AS-40 K-SB	82.31	35.64
Ammonyx LO	82.03	38.81
Mackamin LA	71.03	42.71
Antarox FM 33	70.83	44.73
СинтаНор™ АЛМ-7	55.77	22.25

о том, что водные растворы исследованных ПАА плохо растекаются по различным поверхностям.

Для дальнейших исследований были выбраны две марки ПАА, различающихся химической природой. Выбранные марки ПАА имеют приблизительно одинаковую молекулярную массу, но различаются по величине относительного заряда полимерной цепи. Полиакриламид марки Praestol 2530 является анионным ПАА (относительный заряд 10–40), в то время как Praestol 857 BS – катионным (относительный заряд 5–80). Заряд определяется количеством грамм-эквивалентов диссоциированных карбоксильных групп ($-\text{COO}^-$) и протонированных аминогрупп ($-\text{NH}_3^+$).

Улучшение смачиваемости поверхности было достигнуто путем введения в водный раствор ПАВ. Для определения оптимальных концентраций ПАВ в водных растворах полимерных соединений проведены серии экспериментов, позволяющих установить качественное и количественное содержание смачивающего агента.

С целью определения влияния ПАВ были проведены испытания по измерению величин краевых углов смачивания для капель растворов коммерческих ПАВ различных классов, размещенных на фторопластовой пленке и стекле (табл. 3). Концентрация ПАВ в воде составляла 0.01 мас. %. Отмечено, что наименьшим показателем краевого угла смачивания обладает водный раствор СинтаНор™ АЛМ-7.

Следующей стадией исследования было определение влияния концентрации ПАВ в водном растворе на его растекаемость по поверхности. Установлено, что максимальное снижение краевого угла смачивания достигается для водного раствора СинтаНор™ АЛМ-7 при концентрации 0.025 мас. % (рис. 1).

На основе полученных данных по поведению растворов ПАА и ПАВ на различных типах поверхностях приготовлены образцы, содержащие компоненты в концентрациях, обеспечивающих достижение максимального смачивания (см. табл. 2, 4): 1 – раствор ПАА марки Praestol 857 BS 0.075 мас. % и СинтаНор™ АЛМ-7 0.075 мас. %; 2 – раствор ПАА марки Praestol 2530 0.075 мас. % и СинтаНор™ АЛМ-7 0.075 мас. %. Концентрация ПАВ взята с некоторым избытком для гарантированного достижения максимального снижения краевого угла смачивания на разных поверхностях.

Далее водные растворы “ПАА марки Praestol XXX – СинтаНор™ АЛМ-7” были нанесены на поверхность с целью проверки их возможности образовывать тонкие пленочные материалы. Установлено, что полимерные пленки (толщиной не более 2.5 мкм) образуются на обрабатываемой поверхности в течение 0.5–1.0 ч при комнатной температуре.

Для предотвращения растрескивания пленки “ПАА марки Praestol XXX – СинтаНор™ АЛМ-7” в водный раствор был введен глицерин ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) в количестве от 5.0 до 25.0 мас. %. Выявлено, что при добавлении многоатомного спирта произошло увеличение времени образования пленки на поверхности до 1.5 ч, независимо от концентрации глицерина.

Изучение кинетики влагонасыщения тонкими пленками разработанных полимерных биоцидов показало, что отсутствует существенное различие между типами выбранных ПАА марки Praestol XXX (рис. 2). Установлено закономерное увеличение влагопоглощения пленками в зависимости от длительности контакта с насыщенной влагой средой.

Следует отметить резкое увеличение влагопоглощения пленок “ПАА марок Praestol XXX – СинтаНор™ АЛМ-7” при относительной влажности воздуха выше 80 % (рис. 3).

Потенциальная бактериостатическая и бактерицидная способность разработанных пленкообразующих биоцидов исследована с помощью стандартных протокольных методов определения ингибирования жизнедеятельности микроорганизмов.

Первым шагом изучения противомикробной активности стало исследование способности выбранных ПАА ингибировать рост и размножение (табл. 5) стандартных тест-культур: *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*. Выбранные штаммы микроорганизмов являются наиболее распространенными нозокомиальными штаммами, вызывающими госпитальные инфекции. Представленные микроорганизмы также служат тест-объектами при изучении бактериостатического/бактерицидного действия дезинфицирующего средства согласно нормативной документации Российской Федерации.

Бактериальные штаммы (за исключением *P. aeruginosa*) не показали видимого роста в течение 7 сут инкубации в жидкой минимальной среде N (в питательную среду внесен только источник азота) с добавлением только ПАА различных марок. Это указывает на следующее: бактерии не использовали ПАА в качестве источника питания/энергии. В этих условиях все штаммы микроорганизмов сохраняли жизнеспособность на 7-е сутки во всех вариантах эксперимента.

ТАБЛИЦА 4

Краевые углы смачивания для композиций полиакриламидов марок Praestol XXX с СинтаНор™ АЛМ-7, град

Образец	Поверхность				
	Стекло	Стальная пластинка	Алюминиевая фольга	Фторопластовая пленка	Полиэтилен высокого давления
Вода	34.36	84.54	76.97	104.68	87.48
1	21.99	36.85	40.05	58.65	34.15
2	23.74	46.56	36.46	57.82	42.69

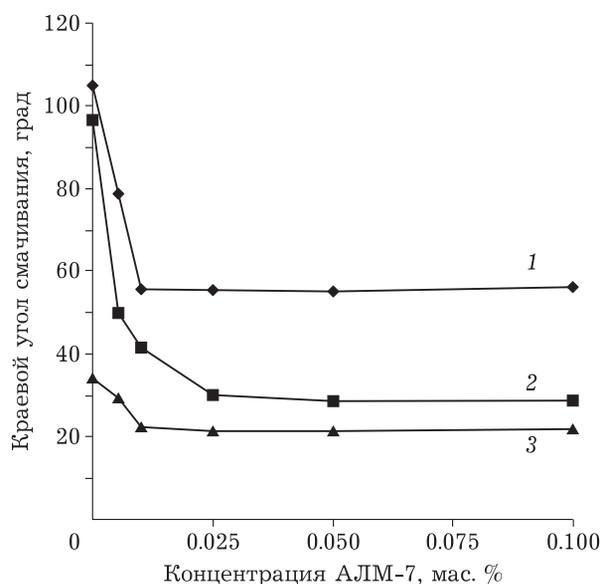


Рис. 1. Зависимость краевого угла смачивания водных растворов СинтаНор™ АЛМ-7 от его концентрации на разных поверхностях: 1 – фторопластовая пленка; 2 – полиэтиленовая пленка; 3 – стекло.

Для усиления антибактериальной способности в состав пленкообразующих биоцидов был введен дополнительный компонент – сульфат цинка или сульфат меди. Выбор этих соединений основан на литературных данных [14–17] и проведенных экспериментах. Исследование усовершенствованных полимерных биоцидов проведено с помощью метода диффузионных дисков, где в качестве объектов исследования выбраны стандартные культуры микроорганизмов *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* и *E. coli* (рис. 4).

Отмечено, что водорастворимый полимер усиливает ингибирующий эффект сульфатов меди и цинка в 1.5–2.0 раза. Было установлено, что максимальное подавление роста наблюдается для образцов следующего состава: раствор ПАА марки Praestol 2530 0.075 мас. %, СинтаНор™ АЛМ-7 0.075 мас. % и $ZnSO_4$ 5.0 мас. %. Введенное в состав композиции ПАВ также повышает ингибирующий эффект за счет истощения энер-

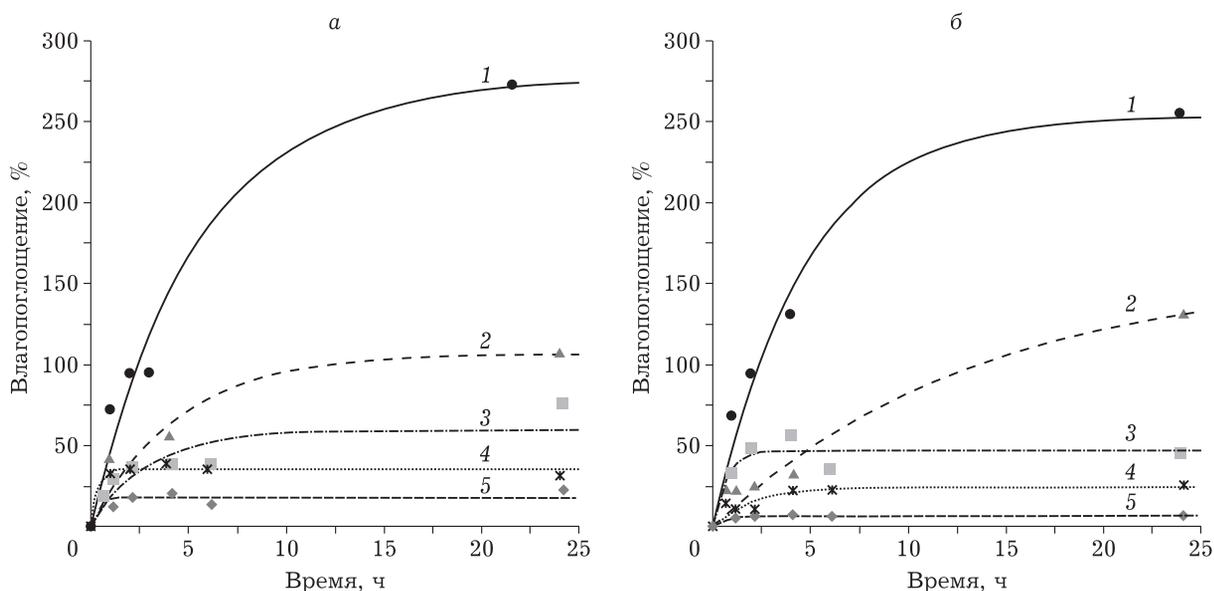


Рис. 2. Влагопоглощение пленок “ПAA марки Praestol XXX – СинтаНор™ АЛМ-7” при различной влажности в эксикаторе: а – ПAA марки Praestol 2530; б – ПAA марки Praestol 857 BS; 1 – 100 %; 2 – 95 %; 3 – 77 %; 4 – 66 %; 5 – 42 %.

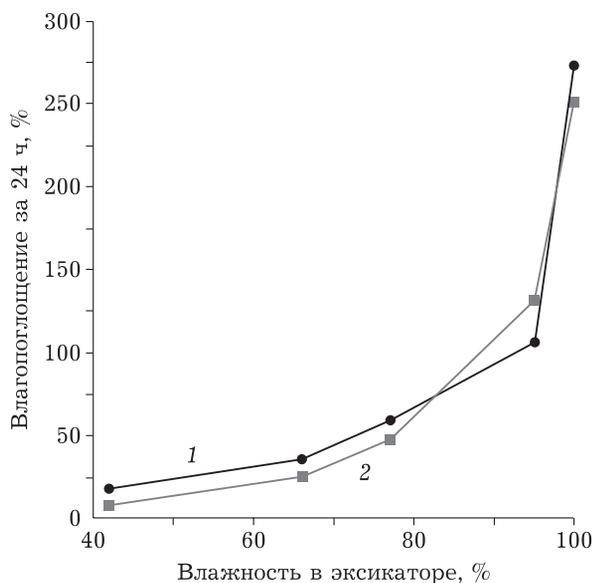


Рис. 3. Зависимость влагопоглощения пленок “ПAA марки Praestol XXX – СинтаНор™ АЛМ-7” от относительной влажности воздуха: 1 – ПAA марки Praestol 2530; 2 – ПAA марки Praestol 857 BS.

гетических ресурсов клеток бактериальных штаммов, поскольку для его деструкции клетками-возбудителями инфекции также необходимы энергетические затраты.

Потенциальная сфера применения новых пленкообразующих биоцидов – это обработка контактных поверхностей для обеспечения санитарных и противоэпидемических мер. В связи с этими представлениями целесообразно и необходимо изучение устойчивости пленок к исти-

рению (техническое свойство). Моделирование устойчивости к истиранию полиакриламидных дезинфицирующих пленок проведено следующим образом. В качестве истирающей поверхности использована экокожа, нанесенная на истирающую насадку. Прикладываемое давление составило 700 Па, скорость вращения насадки – 40 об/мин, что соответствует максимальной линейной скорости 0.061 м/с.

По представленным данным (рис. 5) видно, что пленки на основе марок ПAA Praestol 2530 и Praestol 857 BS, выдержанные при показателях относительной влажности более 70 %, уже после первых минут теряют свою целостность, а относительная потеря массы составляет 0.7–0.95 (70–95 %). При уменьшении относительной влажности окружающей среды пленки из ПAA марки Praestol 2530 имеют более низкую относительную потерю массы, чем пленки из ПAA марки Praestol 857 BS, что свидетельствует об их лучшей износостойкости.

Кроме показателя износостойкости был определен показатель прочности на растяжение. На основе данных по устойчивости к механическому трению пленкообразующие биоциды на основе ПAA Praestol 2530 были выбраны в качестве наиболее перспективных к применению для обработки поверхности. Данные по изучению механических характеристик на разрыв представлены в табл. 6. Установлено, что введение глицерина в состав биоцида позволило не только предотвратить растрескивание пленки

ТАБЛИЦА 5

Рост патогенных бактерий на образцах полиакриламида (ПАА) разных марок в качестве единственного источника (на 3/7 сутки)

Режим эксперимента	Штамм			
	<i>E. coli</i>	<i>K. pneumoniae</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>
ПАА марки Praestol 806 BS				
N* жидкая среда с аэрацией	-/-	-/-	-/-	-/--
N* жидкая среда без аэрации	-/-	-/-	-/-	-/-
N* агар	-/+	-/+	-/+	-/+
Стекло**	-	-	-	33 КОЕ/Петри
Пластик**	-	-	-	7 КОЕ/Петри
ПАА марки Praestol 857 BS				
N* жидкая среда с аэрацией	-/-	-/-	-/-	-/-
N* жидкая среда без аэрации	-/-	-/-	-/-	-/-
N* агар	-/+	-/+	-/+	-/+
Стекло**	-	-	-	12 КОЕ/Петри
Пластик**	-	-	-	Без подсчета
ПАА марки Praestol 2510				
N* жидкая среда с аэрацией	-/-	-/-	-/-	-/-
N* жидкая среда без аэрации	-/-	-/-	-/-	-/-
N* агар	-/+	-/+	-/+	-/+
Стекло**	-	-	-	3 КОЕ/Петри
Пластик**	-	-	-	54 КОЕ/Петри
ПАА марки Praestol 2530				
N* жидкая среда с аэрацией	-/-	-/-	-/-	-/-
N* жидкая среда без аэрации	-/-	-/-	-/-	-/-
N* агар	-/+	-/+	-/+	-/+
Стекло**	-	-	-	-
Пластик**	-	-	-	-

* В питательную среду внесен только источник азота. Источником углерода выступал только ПАА.

** Пленка ПАА формировалась на абиотической поверхности ("чистая" поверхность).

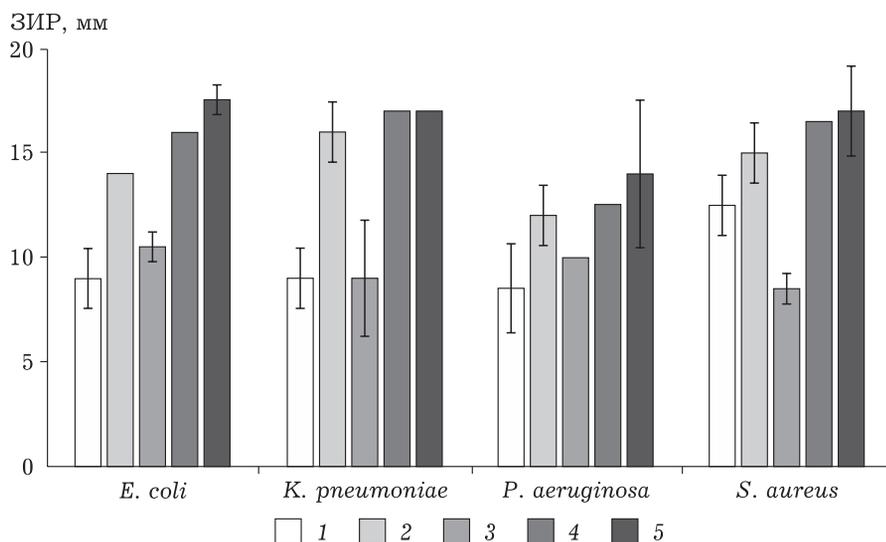


Рис. 4. Зоны ингибирования роста (ЗИР) исследуемых штаммов микроорганизмов растворами солей меди и цинка в комбинации с "ПАА марки Praestol XXX – СинтаНор™ АЛМ-7" и без их добавления: 1 – раствор CuSO_4 5.0 мас. %; 2 – раствор Praestol 857 BS 0.075 мас. %, СинтаНор™ АЛМ-7 0.075 мас. % и CuSO_4 5.0 мас. %; 3 – раствор ZnSO_4 5.0 мас. %; 4 – раствор Praestol 857 BS 0.075 мас. %, СинтаНор™ АЛМ-7 0.075 мас. % и ZnSO_4 5.0 мас. %; 5 – раствор Praestol 2530 0.075 мас. %, СинтаНор™ АЛМ-7 0.075 мас. % и ZnSO_4 5.0 мас. %

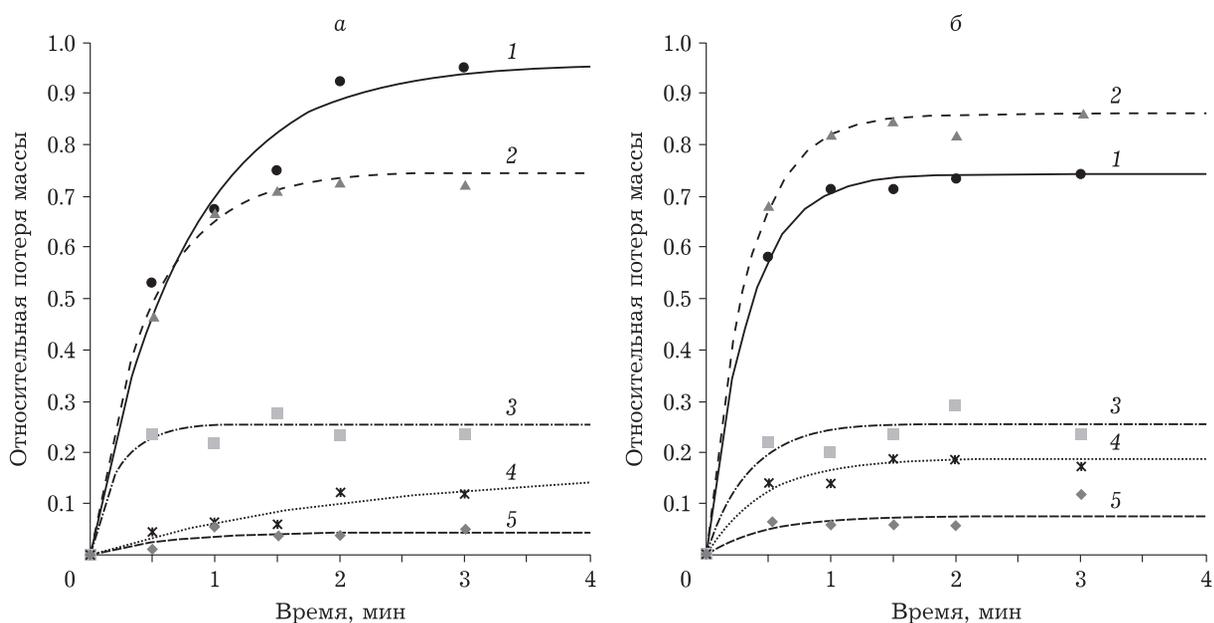


Рис. 5. Зависимость относительной потери массы пленок полиакриламида марок Praestol XXX, выдержанных при разных значениях влажности: а – Praestol 2530; б – Praestol 857 BS; 1 – 100 %; 2 – 95 %; 3 – 77 %; 4 – 66 %; 5 – 42 %.

на поверхности, но и повысил ее механическую прочность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что добавление глицерина в состав пленкообразующего биоцида приводит к увеличению разрывных деформаций. Это благоприятно сказывается на общих технических (эксплуатационных) свойствах биоцида.

Дополнительными испытаниями подтверждено, что добавление глицерина как пластификатора способствует сохранению устойчивости к механическому истиранию и не приводит к снижению бактериостатического/бактерицидного эффекта разработанного пленкообразующего биоцида.

Установлено, что массовая доля водорастворимого полимера (ПАА) в составе пленкообра-

зующего биоцида, необходимая для равномерного формирования покрытия методом мелкокапельного распыления, составляет не более 0.075 мас. %.

Доказано, что введение в водный раствор полиакриламидов ПАВ изменяет смачиваемость поверхности. Установлено, что наилучшая растекаемость водного раствора ПАА достигается при введении ПАВ типа этоксилированных жирных кислот и спиртов – СинтаНор™ АЛМ-7.

Выявлено, что относительная влажность окружающей среды влияет на прочность пленки водорастворимого полимера. Доказано, что добавление СинтаНор™ АЛМ-7 и глицерина помимо улучшения показателя растекаемости способствует повышению технических свойств разработанных материалов.

Подтверждена бактериостатическая и бактерицидная способность жидких форм разрабо-

ТАБЛИЦА 6

Значения механических характеристик для полимерного биоцида “раствор ПАА марки Praestol 2530 0.075 мас. %, СинтаНор™ АЛМ-7 0.075 мас. % и $ZnSO_4$ 5.0 мас. %” при различном содержании пластификатора (глицерина)

Состав	Максимальная деформация при растяжении, %	Максимальная прочность, МПа
Исходная биоцидная пленка	2.0	19.6
Исходная биоцидная пленка + $C_3H_8O_3$ 5.0 мас. %	7.0	7.6
ПАА марки Praestol 2530 0.075 мас. %	4.0	10.8
ПАА марки Praestol 2530 0.075 мас. % + $C_3H_8O_3$ 5.0 мас. %	16.0	10.3
ПАА марки Praestol 2530 0.075 мас. % + $C_3H_8O_3$ 25.0 мас. %	164.0	8.1

танных пленкообразующих биоцидов, что проявляется в ингибировании жизнедеятельности микроорганизмов благодаря действию полиакриламидов и сульфата цинка/меди.

Работа поддержана проектом международных исследовательских групп (проект “Разработка новых мощно-дезинфицирующих композиций/растворов, перспективных для использования в комплексе санитарных и противоэпидемических мероприятий в медицинских организациях” № С-26/542 от 18.03.2021 г.).

Авторы статьи выражают глубокую благодарность сотрудникам “Института экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук” – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ИЭГМ УрО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Diez-Pascual A. M. Synthesis and applications of biopolymer composites // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20, No. 9. Art. 2321.
- Kamaruzzaman N. F., Peng T. L., Hamdan R. H., Choong S. S. Antimicrobial polymers: the potential replacement of existing antibiotics? // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20, No. 11. Art. 2747.
- Francolini I., Vuotto C., Piozzi A., Donelli G. Antifouling and antimicrobial biomaterials: an overview // *Journal of Pathology, Microbiology and Immunology.* 2017. Vol. 125, No. 4. P. 392–417.
- Querido M. M., Aguiar L., Neves P., Pereira C. C., Teixeira J. P. Self-disinfecting surfaces and infection control // *Colloids Surf., B.* 2019. Vol. 178. P. 8–21.
- Ribeiro M. M., Neumann V. A., Padoveze M. C., Graziano K. U. Efficacy and effectiveness of alcohol in the disinfection of semi-critical materials: a systematic review // *Rev. Lat. Am. Enfermagem.* 2015. Vol. 23, No. 4. P. 741–752.
- Graziano M. U., Graziano K. U., Pinto F. M. G., Bruna C. Q. M., Souza R. Q., Lascalea C. A. Effectiveness of disinfection with alcohol 70 % (w/v) of contaminated surfaces not previously cleaned // *Rev. Lat. Am. Enfermagem.* 2013. Vol. 21, No. 2. P. 618–623.
- Gebel J., Exner M., French G., Chartier Y., Christiansen B., Gemein S., Goroncy-Bermes P., Hartemann F., Heudorf U., Kramer A., Maillard J.-Y., Oltmanns P., Rotter M., Sonntag H.-G. The role of surface disinfection in infection prevention // *GMS Hyg. Infect. Control.* 2013. Vol. 8, No. 1. Art. 10.
- Costa M. J., Marques A. M., Pastrana L. M., Teixeira J. A., Sillankorva S. M., Cerqueira M. A. Physicochemical properties of alginate-based films: effect of ionic crosslinking and mannuronic and guluronic acid ratio // *Food Hydrocolloids.* 2018. Vol. 81. P. 442–448.
- Jain N., Singh V. K., Chauhan S. A review on mechanical and water absorption properties of polyvinyl alcohol based composites/films // *J. Mech. Behav. Mater.* 2017. Vol. 26, No. 5–6. P. 213–222.
- Basiak E. How glycerol and water contents affect the structural and functional properties of starch-based edible films // *Polymers.* 2018. Vol. 10, No. 4. Art. 412.
- Hybrid Polymer Composite Materials / V. K. Thakur, M. K. Thakur, A. Pappu (Eds.). 2017. P. 71–88.
- Rohera B. D., Parikh N. H. Influence of type and level of water-soluble additives on drug release and surface and mechanical properties of Surelease® films // *Pharm. Dev. Technol.* 2002. Vol. 7, No. 4. P. 421–432.
- Turan D. Water vapor transport properties of polyurethane films for packaging of respiring foods // *Food Eng. Rev.* 2021. Vol. 13, No. 1. P. 54–65.
- Abdalkader D., Al-Saedi F. Antibacterial effect of different concentration of zinc sulfate on multidrug resistant pathogenic bacteria // *Sys. Rev. Pharm.* 2020. Vol. 11, No. 3. P. 282–288.
- Almoudi M. M., Hussein A. S., Abu Hassan M. I., Zain N. M. A systematic review on antibacterial activity of zinc against *Streptococcus mutans* // *Saudi Dent. J.* 2018. Vol. 30, No. 4. P. 283–291.
- Benhalima L., Amri S., Bensouilah M., Ouzrout R. Antibacterial effect of copper sulfate against multi-drug resistant nosocomial pathogens isolated from clinical samples // *Pak. J. Med. Sci.* 2019. Vol. 35, No. 5. P. 1322–1328.
- Phan D.-N., Dorjjugder N., Saito Y., Khan M. Q., Ullah A., Bie X., Taguchi G., Kim I.-S. Antibacterial mechanisms of various copper species incorporated in polymeric nanofibers against bacteria // *Mater. Today Commun.* 2020. Vol. 25. Art. 101377.