

Блишков Н. А.,
Рыщенко И. М.,
Русинов А. И.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СПОСОБНОСТЬ К ОСУШКЕ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГАЗОВ

Описано взаимосвязь между свойствами неорганических солей, образующих кристаллогидраты, и воздействующим на них давлением. Подбор неорганических адсорбентов, согласно литературным данным, способных к присоединению дополнительных молей воды при повышенном давлении, продемонстрировал разную чувствительность к изменению воды, которая зависит от свойств металлического элемента. Помимо разной чувствительности в зависимости от степени изменения давления, адсорбенты показали и различный состав по степени связывания воды.

Ключевые слова: давление, кристаллогидраты, металлы, спекроскопия, лиганды, связь, электроотрицательность, гидратация.

1. Введение

Кристаллогидраты являются комплексными соединениями, в которых химическая связь между молекулами воды и катионами или анионами неорганического вещества выше, нежели между катионом и анионом [1]. Это дает возможность образовывать катионам аквакомплексы — разновидность комплексных соединений, которые в твердом состоянии и именуются кристаллогидратами.

Вследствие этого кристаллогидраты устойчивы при низких температурах, а при ее повышении они разлагаются. Причина этого заключается в том, что как известно, соединения с преимущественно ионной связью хорошо растворимы и почти нацело диссоциируют в полярных растворителях. Это позволяет им хорошо растворяться в них и сольватироваться молекулами растворителя [2]. При повышении температуры прочность сольватов уменьшается, а при ее снижении, наоборот, повышается [3].

Однако, помимо температуры, на устойчивость кристаллогидратов оказывает влияние и давление. Давление играет ключевую роль при образовании кристаллогидратов, так как последние в определенной степени по структуре напоминают лед, что обуславливает актуальность проведенного исследования. В кристаллогидратах вода, которая называется кристаллизационной, так же как и в обычном льде, также находится в определенных фазах, которые идентичны фазам водяного льда [4].

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования являются неорганические кристаллогидраты (НК), а также изменения их различных характеристик при изменении давления.

По мнению авторов статьи, давление будет оказывать различное влияние на устойчивость НК. При его повышении стабильность НК будет увеличиваться, а понижение давления приводит к разложению неорганических кристаллогидратов. Поэтому при регенерации последних используют пониженное давление и даже вакуум. Это связано с плавлением таких кристаллогидратов в кристаллизационной воде при повышенных температурах. Органические гидраты и кристаллогидраты обладают

меньшими прочностями. Разложение неорганических кристаллогидратов в большинстве случаев требует нагревания, или же сильного вакуума. Это связано с тем, что процесс разложения кристаллогидратов является эндотермическим [5].

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования — установка зависимости состава образующихся кристаллогидратов при осушении воздуха при различных давлениях, а также определение влияния времени на данный процесс.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Определить влияние давления на осушающую способность неорганических солей, способных к образованию кристаллогидратов.
2. Определить влияние давления на состав кристаллогидратов, полученных после осушки водонасыщенного воздуха.
3. Определить чувствительность к давлению в зависимости от катиона металлического элемента и его положения в Периодической системе.

Для выполнения поставленных задач применяли такие действия:

- 1) проводили анализ литературных данных для поиска подходящих адсорбентов, свойства которых позволяют менять мольный состав при повышении давления;
- 2) проводили прогонку воздуха через слои адсорбентов при разных давлениях — при атмосферном давлении, и при повышенных давлениях — 1,5; 2 и 3 атмосферы;
- 3) вычисляли путем спектроскопии процентный состав воды в кристаллогидратах;
- 4) определяли время, необходимое для полного удаления влаги из воздуха в зависимости от различных давлений [6–8].

4. Анализ литературных данных

Литературные данные, в частности, об образовании гидратированных ионов, свидетельствуют о том, что основную роль играют свойства катионов металлических элементов в них. Подавляющее большинство ис-

следований, посвященным свойствам гидратированных ионов и их исследованию, выполняли советские ученые в 60-80-х годах XX века. Исследования в западной литературе, посвященные этому явлению, невелики, и связаны в основном с селективным применением этих катионов в некоторых отраслях.

Катионы обладают способностью сольватировать молекулы воды, иногда анионы также обладают способностью к присоединению по механизму водородных связей. Избыточное давление является не только необходимым фактором для стабильности гидратированных ионов, но обладает способностью ускорять их образование при избытке [9, 10].

При низком дипольном моменте взаимодействие с водой затрудняется, однако известны гидраты неполярных веществ — таких, как галогены ($\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), в котором связь Cl-Cl неполярна, и даже инертных одноатомных газов — например, аргона [11].

Наличие ван-дер-ваальсовых связей позволяет существовать веществам с низким дипольным моментом в твердом, жидком виде при низких температурах. Эти связи и являются движущими силами для образования клатратов (иногда именуемых газовыми гидратами) неполярных молекул. Однако повышение давления позволяет влиять как на силы взаимодействия ван-дер-ваальсовых сил, так и классических ковалентных сил [12, 13].

Длина связей в кристаллогидратах между катионом, образующим гидратированный ион и атомами кислорода, входящими в молекулу воды, зависит от количества гидратированных молекул воды, но в пределах некоего координационного числа. Существуют механизмы образования двойной координационной связи, при наличии кислородсодержащего аниона он также вовлекается во взаимодействие, составляя конкуренцию воде, из-за чего эффективность адсорбента понижается, так как он может связать меньшее число молей воды [14, 15].

При повышении координационного числа дополнительные моли воды связываются по связям через основные моли воды, и длина связи $\text{Me}^+ \dots \text{OH}_2$ увеличивается, а сила связи — сокращается, что иллюстрирует табл. 1.

Таблица 1

Зависимость длины связей от металла, образующего гидратированный катион

Катион металлического элемента	Li^+	K^+	Cd^{2+}	Cu^{2+}
Состояние гидратированного катиона в устойчивом кристаллогидрате	$[\text{Li}(\text{H}_2\text{O})_4]^+$	$[\text{K}(\text{H}_2\text{O})_6]^+$	$[\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$	$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$
Длина связей $\text{M} \dots \text{O}$ (пм)	115 пм	287 пм	262 пм	195 пм

На основные моли воды присоединение дополнительных не влияет, однако все же такие кристаллогидраты обладают меньшей стойкостью, что и объясняет их медленное образование и меньшую термическую стойкость [16].

5. Материалы и методы исследований

Для опыта выбирали такие неорганические и органические соли, которые отличались условиями образования кристаллогидратов, а также были устойчивы при повышенном давлении. Целью работы было установление состава кристаллогидратов при воздействии на них давления.

В качестве исследуемых солей применяли четыре неорганических адсорбента в разных количествах, данные о которых иллюстрирует табл. 2.

1. Литий бромид, который способен образовывать кристаллогидраты с 1, 2, 3 и 5 молекулами воды. Обладает способностью чутко реагировать на изменение давления, по этой причине он применяется в кондиционерах с целью осушки поступающего теплого воздуха от избытка паров воды. При охлаждении воздуха пары в нем конденсируются, и чтобы от них избавиться, их при пониженном давлении и конденсации выводят наружу.

2. Калий ортофосфат, способный к образованию ноагидрата при низких температурах и образующий ряд кристаллогидратов с различным числом присоединенных молей воды.

3. Меди сульфат, который в обычных условиях образует пентагидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Однако при повышенных давлениях возможно образование гептагидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

4. Кадмий сульфат, который образует моногидрат $\text{CdSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, повышение давления дает кристаллогидрат смешанного состава $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ [17–19].

Таблица 2

Список применяемых адсорбентов и их масса

Адсорбент	ν , моль	Молярная масса, г/моль	Масса примененного сорбента (г)
LiBr	0,315	87	27,4
K_3PO_4	0,136	213	28,9
CuSO_4	0,189	160	30,2
CdSO_4	0,944	209	197,3

Были обработаны данные о составах наиболее устойчивых при атмосферном давлении и образующихся при непосредственном контакте на воздухе с влагой у данных неорганических солей.

Для исследований применяли поэтапное повышение давления от 1 до 3 атмосфер. Для получения высокого давления применяли насос высокого давления «УВД-4/630».

Осушению подвергали насыщенный парами воды объем воздуха, который находился при 293 К. В воздухе находилось 17 г/м^3 воды, воздух был максимально насыщен для этой температуры парами воды (относительная влажность = 100%). Вентилятором поэтапно прогонялся насыщенный водяной пар при объеме в 1 м^3 до полной его осушки, достигаемой адсорбентом (она варьирует от способности адсорбента).

В качестве материалов применяли 4 неорганические соли, способные к образованию кристаллогидратов при соответствующих условиях.

6. Результаты исследований

После применения повышенного давления удалось вначале отметить значительное ускорение осушки воздуха. Дальнейшее повышение давления привело к фиксации кристаллогидратов повышенного состава, а также ненасыщенного состава, что свидетельствовало о том, что образование кристаллогидрата с большим числом молей воды становится выгодным вследствие усиления анионного или катионного механизма связывания данных молекул воды [16]. Результаты исследований иллюстрирует табл. 3.

Таблица 3

Процентный мольный состав кристаллогидратов при четырех различных давлениях, измеренный с помощью ЯМР-спектроскопии

Применяемое давление (атм), основной состав кристаллогидрата, и его чувствительность к изменению давления (ΔP)	LiBr	K ₃ PO ₄	CdSO ₄	CuSO ₄
	Очень высокая чувствительность	Высокая чувствительность	Средняя чувствительность	Низкая чувствительность
1	LiBr · 3H ₂ O — 90 %	K ₃ PO ₄ · 7H ₂ O — 80 %	CdSO ₄ · H ₂ O — в 70 %	CuSO ₄ · 5H ₂ O — почти 100 %
	LiBr · 2H ₂ O — 6 %	K ₃ PO ₄ · 3H ₂ O — 15 %	3CdSO ₄ · 8H ₂ O — 15 %	Остальные кристаллогидраты — в следовых количествах
	LiBr · 5H ₂ O — 3 %	K ₃ PO ₄ · 1,5H ₂ O — 5 %	Безводный CdSO ₄ — 15 %	—
	Остальное — 1 %	—	—	—
1,5	LiBr · 5H ₂ O — 45 %	K ₃ PO ₄ · 9H ₂ O — 10 %	3CdSO ₄ · 8H ₂ O — 20 %	CuSO ₄ · 7H ₂ O — 5 %
	LiBr · 3H ₂ O — 40 %	K ₃ PO ₄ · 7H ₂ O — 65 %	CdSO ₄ · H ₂ O — в 50 %	CuSO ₄ · 5H ₂ O — 90 %
	LiBr · 2H ₂ O — 15 %	K ₃ PO ₄ · 3H ₂ O — 15 %	—	CuSO ₄ · 3H ₂ O — 5 %
	Остальное — 5 %	K ₃ PO ₄ · 1,5H ₂ O — 5 %	—	—
2	LiBr · 5H ₂ O — 50 %	K ₃ PO ₄ · 9H ₂ O — 30 %	3CdSO ₄ · 8H ₂ O — 30 %	CuSO ₄ · 7H ₂ O — 15 %
	LiBr · 3H ₂ O — 5 %	K ₃ PO ₄ · 7H ₂ O — 30 %	CdSO ₄ · H ₂ O — в 25 %	CuSO ₄ · 5H ₂ O — 70 %
	LiBr · 2H ₂ O — 5 %	K ₃ PO ₄ · 3H ₂ O — 15 %	CdSO ₄ (безводный) — 55 %	CuSO ₄ · 3H ₂ O — 15 %
	Безводный LiBr — 40 %	K ₃ PO ₄ · 1,5H ₂ O — 15 %	—	—
3	LiBr · 5H ₂ O — 55 %	K ₃ PO ₄ · 9H ₂ O — 70 %	3CdSO ₄ · 8H ₂ O — 30 %	CuSO ₄ · 7H ₂ O — 40 %
	LiBr · 3H ₂ O — 5 %	K ₃ PO ₄ · 7H ₂ O — 5 %	CdSO ₄ · H ₂ O — 7 %	CuSO ₄ · 5H ₂ O — 20 %
	LiBr · 2H ₂ O — 5 %	K ₃ PO ₄ · 3H ₂ O — 15 %	CdSO ₄ (безводный) — 63 %	CuSO ₄ · 3H ₂ O — 40 %
	Безводный LiBr — остальное	K ₃ PO ₄ · 1,5H ₂ O — 10 %	—	—

Результаты показали, что повышенное давление сильно ускоряет образование кристаллогидратов, а также повышает их стойкость и резко повышает осушающие свойства неорганических и органических адсорбентов ионного строения.

Кроме того, повышение давления способствует тому, что вследствие усиления взаимодействия катионов и анионов плотность соприкосновений возрастет более, чем линейно. Так как дипольный момент играет первоочередную роль при образовании кристаллогидратов у ионных соединений, то ван-дер-ваальсовы силы способствуют межмолекулярному взаимодействию между молекулами воды и молекулами адсорбента, таким образом, не только принимая в них косвенное участие, но и проводя, в определенной степени, катализ этих процессов.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Применение в качестве осушителей газов безводных неорганических солей, которые адсорбируют воду в свою внутреннюю структуру и образуют кристаллогидраты, дает возможность эффективно связывать воду в кристаллогидрат, который образуется путем моментальной кристаллизации полученного аквакомплекса в твердое состояние. Высокая эффективность ряда таких адсорбентов (магний перхлорат, кальций хлорид) объясняется высокой степенью ионности таких соединений, и соответственно катион обладает большой склонностью к лигандам. Есть взаимосвязь между гигроскопичностью, и зависимостью между ионностью катионов и анионов. На поверхности сорбента при контакте с влажным воздухом образуется ультратонкий слой пересыщенного раствора, что в результате дает способность образовывать кристаллогидраты с высоким качеством осушки.

На способность к гидратации иона металлического элемента влияют его свойства — электронная конфигурация, расстояние до ядра свободных орбиталей. Электроотрицательность влияет на степень смещения электронной пары от кислорода к катиону металлического элемента.

Исследование состояния осушки газов в зависимости от давления дает возможность провести анализ процесса, и подобрать не только адсорбент, но и давление. Небольшое повышение давления может значительно ускорить процесс, что может быть выгодно при получении газов, практически не содержащих влагу.

Слабыми сторонами является необходимость дополнительного компрессора, однако даже при атмосферном давлении эффективность разных адсорбентов в конкретных значениях изучена слабо. Полученная зависимость перераспределения состава при повышении давления дает возможность не только ускорения, но и повышения ресурса адсорбента, который может присоединять дополнительные моли воды.

В зарубежных странах (США, Европейский Союз) для осушки неорганические соли, которые образуют кристаллогидраты, применяются относительно редко. Это связано с высокой стоимостью неорганических адсорбентов (таких как соли благородных металлов), или сложной технологией производства (таких как перхлораты). Как правило, применяется Фосфор (V) оксид или же сульфатная (серная) кислота, которые, однако, являются невозобновляемыми сорбентами, так как не могут быть регенерированы. Улучшение качеств сорбентов путем повышения давления позволит применять их вместо традиционных сорбентов, которые после применения не могут быть применены повторно с помощью регенерации при прокаливании.

8. Выводы

В ходе проведенных исследований:

1. Было установлено, что, повышение давления способствует усилению межмолекулярных процессов. А резкое снятие или повышение давления может использоваться как альтернатива термической регенерации, во многих случаях также обладая лучшими свойствами по сравнению с термической регенерацией.

2. Повышение давления способствует увеличению числа молекул воды в кристаллогидрате и возрастанию устойчивости образующихся кристаллогидратов, которые являются нестабильными при обычных условиях.

3. Адсорбционная способность может быть существенно повышена путем увеличения давления. Это также свидетельствует о том, что повышение давления улучшает способность кристаллогидратов к их образованию.

Вышеизложенные выводы демонстрируют табл. 4, которая указывает зависимости времени осушки от давления и типа сорбента.

Таблица 4

Исследование зависимости осушки насыщенного пара воды воздуха при $T = 293 \text{ K}$

Адсорбент	T (мин) до остаточного содержания воды до 1 % по объему			
	1	1,5	2	3
P (атм)	1	1,5	2	3
LiBr	30	10	3	1
K_2PO_4	42	17	8	3
$CuSO_4$	150	65	40	15
$CdSO_4$	95	55	38	20

Как следствие, повышение давления также может существенно влиять на глубину регенерации кристаллогидратов. Представляет интерес применять повышенное давление для осушки газов. Также оно позволяет и улучшать осушку слабополярных жидкостей, однако в значительно меньшей степени.

Литература

- Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия [Текст] / Н. С. Ахметов. — 4-е изд., испр. — М.: Высшая школа, издательский центр «Академия», 2001. — 743 с.
- Абрамов, В. В. Общая и неорганическая химия, химическая связь. Общие представления. Ионная связь. Метод валентных связей в теории ковалентной связи [Текст] / В. В. Абрамов, Г. П. Свистунов; Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. — Владимир: Владимирский политехнический институт, 1989. — 47 с.
- Ярошевская, Х. М. Физическая химия [Текст]: конспект лекций / Х. М. Ярошевская, Министерство образования РФ. — Казань: КГТУ, 2003. — 111 с.
- Кесслер, Ю. М. Вода: структура, состояние, сольватация. Достижения последних лет [Текст] / Ю. М. Кесслер, В. Е. Петренко, А. К. Лященко и др.; Институт химии растворов. — М.: Наука, 2003. — 403 с.
- Рябухин, А. Г. Эффективные ионные радиусы. Энтальпия кристаллической решетки. Энтальпия гидратации ионов [Текст] / А. Г. Рябухин; Министерство образования РФ. — Челябинск: ЮУрГУ, 2000. — 115 с.
- Гайнуллина, И. П. Избирательная сольватация заряженных и электронейтральных частиц в водных растворах D-глюкозы [Текст]: автореф. дис.: 02.00.04 / И. П. Гайнуллина, Национальная академия наук Киргизской Республики. — Бишкек: Институт химии и химической технологии, 1999. — 27 с.

- Dorling Kindersley Science Encyclopedia [Text]. — 2nd Revised edition edition. — Dorling Kindersley Publishers Ltd., 21 Aug. 1997. — 448 p.
- Гороновский, И. Т. Краткий справочник по химии [Текст] / И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч; под общ. ред. А. Т. Пилипенко. — 5-ое изд., испр. и доп. — К.: Наукова Думка, 1987. — 58 с.
- Schwarz, U. Editorial: High-Pressure Crystallography and Synthesis [Text] / U. Schwarz // Zeitschrift für Kristallographie — Crystalline Materials. — 2004. — Vol. 219, № 6. — P. IV–IV. doi:10.1524/zkri.219.6.iv.34634
- Takashima, S. The structure and dipole moment of globular proteins in solution and crystalline states: Use of NMR and X-ray databases for the numerical calculation of dipole moment [Text] / S. Takashima // Biopolymers. — 2001. — Vol. 58, № 4. — P. 398–409. doi:10.1002/1097-0282(20010405)58:4<398::aid-bip1016>3.3.co;2-0
- Van der Waals Forces [Text] // BUTE: SURFACE FORCES O-BK. — Wiley-Blackwell, 2010. — P. 5–53. doi:10.1002/9783527629411.ch2
- Сережкин, В. Н. Кристаллохимические радиусы и координационные числа атомов [Текст]: учеб. пос. / В. Н. Сережкин, Д. В. Пушкин; Министерство образования и науки Российской Федерации. — Самара: Государственное образовательное учреждение «Самарский государственный университет», 2004. — С. 60–62.
- Appendix 2: Periodic Table of the Elements (1 to 102), Shaded According to Number of Naturally Occurring Isotopes [Text] // Mass Spectrometry of Inorganic, Coordination and Organometallic Compounds. — Wiley-Blackwell, 2005. — P. 247–248. doi:10.1002/0470014318.app2
- Rozmanov, D. A. The structure and the Raman vibrational spectrum of the beryllium aquacation [Text] / D. A. Rozmanov, O. V. Sizova, M. Y. Skripkin, K. A. Burkov // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. — 2005. — Vol. 62, № 1–3. — P. 92–96. doi:10.1016/j.saa.2004.12.006
- Moomaw, A. S. Cation Selectivity by the CorA Mg²⁺ Channel Requires a Fully Hydrated Cation [Text] / A. S. Moomaw, M. E. Maguire // Biochemistry. — 2010. — Vol. 49, № 29. — P. 5998–6008. doi:10.1021/bi1005656
- Комаров, С. А. Диэлектрические свойства песка, содержащего кристаллогидраты минеральных солей [Текст] / С. А. Комаров, В. Л. Миронов, А. Н. Романов. — Барнаул: АГУ, 2000. — 60 с.
- Балецкая, Л. Г. Неорганическая химия [Текст] / Л. Г. Балецкая. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. — 251 с.
- Куликова, Е. Ю. Физико-химические процессы в неравновесных энергонапряженных системах благородный газ — фтор, озон и равновесных системах благородный газ — жидкость [Текст] / Е. Ю. Куликова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию. — Иваново: Ивановский государственный университет, 2008. — 158 с.
- Бажин, Н. М. Журнал структурной химии [Текст]. Т. 52. Рентгеновские и электронные спектры и химическая связь / Н. М. Бажин. — Сибирское отделение РАН, Институт неорганической химии им. А. В. Николаева, 2011. — 104 с.

ВЛИВ ТИСКУ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ТА ЗДАТНІСТЬ ДО ОСУШЕННЯ ВОДОНАСИЩЕНИХ ГАЗІВ

Описано взаємозв'язок між властивостями неорганічних солей, що утворюють кристалогідрати, і впливає на них тиском. Підбір неорганічних адсорбентів, згідно з літературними даними, здатних до приєднання додаткових моль води при підвищеному тиску, продемонстрував різну чутливість до зміни води, яка залежить від властивостей металевого елемента. Крім різної чутливості в залежності від ступеня зміни тиску, адсорбенти показали і різний склад за ступенем зв'язування води.

Ключові слова: тиск, кристалогідрати, метали, спектроскопія, ліганди, зв'язок, електронегативність, гідратація.

Бликов Николай Андреевич, аспирант, кафедра общей и неорганической химии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина, e-mail: nikolayblinkov@yahoo.com.

Рыщенко Игорь Михайлович, доктор технических наук, профессор, кафедра общей и неорганической химии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина.

Русинов Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра общей и неорганической химии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина.

Блинков Микола Андрійович, аспірант, кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Рищенко Ігор Михайлович, доктор технічних наук, професор, кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.
Русинов Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Blinkov Nikolai, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: nikolayblinkov@yahoo.com.

Rushenko Igor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Rusinov Olexandr, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

УДК 677.494.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.76522

**Ищенко О. В.,
Плаван В. П.,
Ковальчук О. В.,
Ляшок І. О.,
Власенко В. І.**

ОТРИМАННЯ ПОЛІМЕРНИХ БІОСУМІСНИХ ВОЛОКОН МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОФОРМУВАННЯ

Досліджено процеси отримання нетканних функціональних полімерних матеріалів методом електроформування на лабораторній установці капілярного типу. Визначені основні параметри електроформування і морфологічні характеристики одержаних волокон. Встановлено, що частина полімерних волокон у нетканому матеріалі характеризуються нанорозмірами, що відкриває перспективи отримання біосумісних нановолокон з антисептичними та фунгіцидними властивостями.

Ключові слова: електроформування волокон, полімерні біосумісні волокна, неткані нановолокнисті матеріали, діаметр волокон.

1. Вступ

Електроформування, як метод формування волокон (ЕФВ) з полімерних розчинів або розплавів під дією постійного струму високої напруги, застосовується для отримання ультратонких волокон та нановолокнистих матеріалів [1, 2]. Через інтереси військово-промислового комплексу різних країн, в рамках якого проводилася і переважно використовувалася продукція ЕФВ-процесу, теоретичне підґрунтя цієї перспективної технології недостатньо висвітлюється у вітчизняній науковій літературі. У зв'язку з цим актуальним є дослідження закономірностей отримання волокон нанометрового діапазону з різних полімерів та їх сумішей способом електроформування і визначення областей їх застосування.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження — біосумісні нановолокнисті неткані матеріали з антисептичними та фунгіцидними властивостями, отримані методом електроформування.

В даний час застосовуються дві основні схеми процесу електроформування: капілярна і безкапілярна. На рис. 1 наведена схема капілярного пристрою для здійснення процесів електроформування і електророзпилення.

Установка для безкапілярного формування (рис. 2) також складається з ізольованої від електродів безперервно вентильованої камери, в середині якої в горизонтальній площині знаходиться формувальний електрод, який обертається, частково занурений в розчин полімеру, і осаджувальний електрод.

Формувальний електрод являє собою циліндричне тіло з гладкою або рельєфною поверхнею, також він може складатися з струн, натягнутих на каркас. Джерело високої напруги підключене до розчину. Осаджувальний електрод, як правило, заземлений. Формувальний електрод при обертанні покривається шаром полімерного розчину, який постійно оновлюється завдяки обертанню. Безліч конічних утворень, так званих конусів Тейлора [1], постійно виникає на його поверхні, утворюючи струмені, при розщепленні і затвердінні яких утворюються нановолокна, які потім дрейфують під впливом електричного поля до осаджувального електроду і укладаються щільним шаром. Осаджувальний електрод в установках безкапілярного електроформування завжди розташований над формувальним електродом, так як при іншому розташуванні важко домогтися простоти конструкції, яка забезпечила б рівномірне змочування формувального електрода полімерним розчином. Як правило, лист допоміжного тканого або нетканого матеріалу розташовується над осаджувальним електродом, вклинаючись шаром нановолокон, внаслідок чого процес електроформування може здійснюватися безперервно [3].