

На підставі експериментальних даних з моделювання гідродинамічних умов в реакторі з розплавом представлена методика визначення часу контакту і поверхні розділу фаз стосовно до процесу крекінгу вуглеводневої сировини в розплавлених середовищах. Досліджено гідродинамічні режими під час барботажа та виявлено основні взаємозв'язки між керуючими параметрами процесу

Ключові слова: гідродинаміка, газорідинна система, швидкість спливання, газовміст, міжфазна поверхня

На основании экспериментальных данных по моделированию гидродинамических условий в реакторе с расплавом представлена методика определения времени контакта и поверхности раздела фаз применительно к процессу крекинга углеводородного сырья в расплавленных средах. Исследованы гидродинамические режимы при барботаже и выявлены основные взаимосвязи между управляющими параметрами процесса

Ключевые слова: гидродинамика, газожидкостная система, скорость всплытия, газосодержание, межфазная поверхность

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПРОЦЕССА КРЕКИНГА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В РАСПЛАВАХ

М. А. Гликин

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: maratglik@rambler.ru

Е. Ю. Черноусов

Аспирант*

E-mail: eychernousov@gmail.com

Е. И. Зубцов

Кандидат технических наук, старший преподаватель**

E-mail: mining_07@mail.ru

*Кафедра технологий

органических веществ, топлива и полимеров***

**Кафедра технологий

неорганических веществ и экологии***

***Технологический институт Восточноукраинского

национального университета им. В. Даля (г. Северодонецк)

пр. Советский, 59-а, г. Северодонецк, Украина, 93400

1. Введение

Разработка принципиально новых методов осуществления технологических процессов является приоритетной задачей современной химической технологии. Одним из направлений является проведение крекинга углеводородного сырья в расплавленных средах, что позволяет интенсифицировать процессы массо- и теплообмена [1]. При комплексном изучении данного процесса представляется необходимым исследование его основных технологических параметров, в том числе гидродинамических характеристик газожидкостной системы в реакторе. Из-за сложности лабораторных экспериментов по крекингу углеводородов в расплаве и практической невозможностью получения прямых результатов по исследованию гидродинамики в реакторе требуется физическое моделирование процесса с последующей обработкой полученных данных применительно к разрабатываемому процессу, что является эффективным инструментом в решении подобных задач химической технологии [2].

2. Постановка проблемы

Научно-обоснованный расчет реакционной аппаратуры для разрабатываемого процесса возможен лишь

на основе надежной информации о гидродинамической обстановке в зоне барботажа паров углеводородов через слой расплава. Успешное решение указанной задачи, в первую очередь, зависит от ответа на вопрос: каким образом рассчитать время протекания реакции, определяемое продолжительностью контакта фаз при барботаже сырья. Для исследования кинетики процесса необходимо иметь надежный способ определения межфазной поверхности. Однако эти вопросы в литературе представлены слабо и неоднозначно.

Несмотря на широкое применение барботажа в различных процессах химической технологии (окисление, алкилирование, хлорирование, абсорбция газов, ректификация и др.) и достаточно большое внимание исследователей, уделяемое этому вопросу, до сих пор нет единой общепризнанной теории, охватывающей все его стороны и особенности промышленного производства. В литературе приводятся не только различные уравнения для расчета характеристик барботажных систем, но даже по-разному трактуется качественная картина возникающих при барботаже гидродинамических режимов [3]. Отсутствует единство взглядов, а зачастую высказываются противоречие точки зрения относительно влияния на рассматриваемый процесс некоторых характеристик жидкой фазы (вязкость, поверхностное натяжение) и типа реакционного аппарата (диаметр, размеры отверстий распределительной

решетки и др.) Таким образом, непосредственное использование имеющихся корреляций в случае расплавленных сред невозможно [3].

3. Литературный обзор

Имеющиеся в литературе данные [1 – 7] следует применить для математического описания разрабатываемого процесса и оценить их эффективность по полученным экспериментальным результатам.

Согласно [4], любой гидродинамический режим изотермических газожидкостных систем может быть определен следующими физическими величинами: объемным расходом газовой (w_g) и жидкой ($w_{ж}$) фаз через единицу площади поперечного сечения потока смеси; плотностями жидкой ($\rho_{ж}$) и газовой (ρ_g) фаз; их динамическими коэффициентами вязкости ($\mu_{ж}$ и μ_g); коэффициентом поверхностного натяжения на границе раздела фаз (σ); ускорением свободного падения (g) и линейными размерами системы (l) (при заданной ее конфигурации).

При различной скорости истечения газа в жидкость наблюдается разные гидродинамические режимы: пузырьковый, пенный, струйный [5]. Пузырьковый (барботажный) режим наблюдается при небольших скоростях и объемах газа, при этом газ движется через слой жидкости в виде отдельных пузырьков. Пенный режим (режим ячеистой пены [6]) возникает, когда скорость газа превышает скорость свободного всплытия пузырьков. При этом газ истекает в жидкость в виде струи, которая вследствие сопротивления барботажного слоя разрушается с образованием большого числа мелких пузырьков различного диаметра. Струйный режим (инжекционный, режим пробоя [6] или динамической пены [7]) характеризует такое состояние газожидкостной системы, когда газ проходит через жидкость в виде крупных скоплений пузырей и брызг, разделенных прослойками жидкости с включенными в них мелкими пузырями.

Простейшим, и наиболее изученным режимом барботажа является пузырьковый [7], поэтому для исследования гидродинамики крекинга углеводородов в расплаве были выбраны формулы для расчета характеристик в этом режиме.

Для разрабатываемого процесса важными характеристиками, необходимыми для расчета времени контакта (τ) и удельной поверхности раздела фаз (S), являются диаметр пузырьков газовой фазы (d_n), газосодержание слоя (φ) и скорость всплытия пузырьков (w). Расчет ведется по следующим формулам [6]:

$$\tau = \frac{H}{w}, \text{ с,} \tag{1}$$

где H – высота газожидкостной смеси, м;

$$S = \frac{6\varphi}{d_n}, \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}. \tag{2}$$

При крекинге углеводородного сырья в среде расплавленных металлов, их солей или оксидов происходит непрерывное увеличение объема газовой фазы и ее скорости за счет теплового и гидростатического расширения, а также протекания реакций распада углеводородов [3].

Крупные пузыри ($d_n \geq 1$ мм) при подъеме деформируются, приобретая эллипсоидальную форму ($d_n=1-5$ мм) и полусферическую ($d_n > 5$ мм) [5], причем движение пузырей становится спиральным (рис. 1).

Газосодержание барботажного слоя меняется как по высоте аппарата, так и по его сечению [7].

Газовые пузыри при всплытии легко деформируются [4], что приводит к пульсациям площади их поперечного сечения и, как следствие, скорости их всплытия.

Значения собственных чисел Рейнольдса всплывающих пузырей ($Re > 1$) делают невозможным применение закона Стокса (вязкое обтекание) для оценки скорости их всплытия [4]. Поэтому при расчете применяются формулы, автоматические относительно вязкости жидкой фазы.

Следует отметить, что на поверхность раздела фаз при барботаже существенное влияние оказывает присутствие поверхностно-активных веществ (ПАВ) и растворенных электролитов в газожидкостной системе [6].

В табл. 1 представлены формулы разных авторов, каждая из которых в большей или меньшей степени учитывает все вышеперечисленные особенности.

Таблица 1

Формулы расчета гидродинамических параметров газожидкостной системы

Расчетная величина	Формулы согласно работ:		
	[4]	[6, 7]	[1, 3]
Диаметр пузырька	$d_n = 3\sqrt{\frac{3\varphi_0 d_0 \sigma}{4g\Delta\rho}} \tag{3}$	$d_n = 1,5\sqrt{\frac{d_0 \sigma}{g\Delta\rho}} \tag{4}$	–
Газосодержание	$\varphi = \frac{C\sqrt{Fr}}{1+C\sqrt{Fr}} \tag{5}$	$\varphi = 1 - k_1 k_2 \Psi \tag{6}$	$\varphi = \frac{P_1 w_{гr} \ln \gamma}{agh\rho_{ж}} \tag{7}$
Скорость всплытия	$w = \sqrt{\frac{2\sigma}{d_n \Delta\rho} + \frac{gd_n}{2} \left(1 - \frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}}\right)} \tag{8}$	$w = 1,5 \left(\frac{\sigma g \Delta\rho}{\rho_{ж}^2}\right)^{0,25} \tag{9}$	$w = \frac{a(ahg\rho_{ж} + P_1 w_{гr} \ln \gamma)}{ahg\rho_{ж} - (b-1)P_1 w_{гr} \ln \gamma} \tag{10}$

В приведенных уравнениях

$$k_1 = 1 - \exp\left[-1,1 \left(\frac{\sqrt{gD}}{w_{гr}}\right)^{0,75} \left(\frac{w_{гr}}{w}\right)^{0,5}\right], \tag{11}$$

- коэффициент в уравнении (6), учитывающий влияние диаметра аппарата;

$$k_2 = 1 - \exp \left[-0,405 \left(\frac{\sqrt{gh}}{w_\Gamma} \right)^{0,75} \left(\frac{w_\Gamma}{w} \right)^{0,7} \right], \quad (12)$$

- коэффициент в уравнении (6), учитывающий влияние высоты слоя жидкости;

$$\Psi = \exp \left[- \frac{0,2 \frac{w_\Gamma}{w} \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_\Gamma} \right)^{0,2}}{1 + 0,00875 \left(\frac{w_\Gamma}{w} \right)^{0,95} \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_\Gamma} \right)^{0,75}} \right], \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{aP_1 + (b-1)P_1w_\Gamma}{aP_0 + (b-1)P_1w_\Gamma}, \quad (14)$$

где $\phi_0 = 2/3$ – коэффициент сужения шейки пузыря при отрыве;

d_0 – диаметр отверстия, в котором образуется пузырь, м;

C – константа, для системы вода-воздух $C=2$, для других систем $C=1$;

$$Fr = \frac{w_\Gamma^2}{gh} \text{ – критерий Фруда;}$$

h – высота светлого слоя жидкости, м;

D – диаметр аппарата, м;

P_0 – давление над поверхностью расплава, Па;

a – коэффициент, для солевых систем численно равный 0,38;

b – коэффициент, численно равный при $D \geq 53$ мм 2,70, при $D < 53$ мм 1,25;

P_1 – давление в точке ввода газового потока, Па.

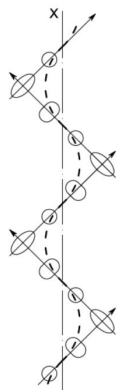


Рис. 1. Движение свободно всплывающего пузыря – флуктуации около вертикального направления

4. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является разработка методики определения времени контакта и поверхности раздела фаз применительно к процессу разложения углеводородного сырья в расплавленных средах путем

физического моделирования на аналогичных по физико-химическим свойствам объектах. Задачами исследования для разрабатываемого процесса являются: проверить экспериментальным путем возможность применения имеющихся в литературе расчетных формул и выбрать наиболее подходящие применительно к исследуемому процессу; определить четкую гидродинамическую обстановку и основные закономерности в зоне барботажа.

5. Методика проведения экспериментов

Для физического моделирования процесса в качестве аналогов лабораторного реактора применялись стеклянные трубки различного диаметра. В качестве модельных жидкостей для расплавов солей использовались бензин, вода и четыреххлористый углерод, имеющие различные физико-химические свойства (табл. 2). Свойства применяемых жидкостей аналогичны и в большинстве случаев эквивалентны свойствам расплавленных солей [8, 9]. В качестве аналога паров углеводородов применялся воздух.

Таблица 2

Свойства модельных жидкостей и расплавленных солей

Свойство вещества	Бензин 20 °С	Вода 20 °С	Четырех- хлористый углерод 20 °С	KCl 800 °С	LiCl 700 °С	CuCl 500 °С	AlCl ₃ 300 °С
Плотность, кг/м ³	740	998	1595	1512	1464	3633	992
Вязкость, мПа·с	0,53	1,00	0,97	1,10	1,25	2,61	0,12
Поверхностное натяжение, мН/м	21,6	72,3	25,7	98,8	117,9	76,1	2,08

В разрабатываемом процессе крекинга расход газовой фазы определяется расходом углеводородного сырья. Для пересчета расхода сырья в процессе крекинга (на примере нефти) в расход воздуха при физическом моделировании воспользуемся формулой Крэга и уравнением Клапейрона [10] для определения соответственно средней молекулярной массы и объема паров нефти при температуре процесса 500 °С. Плотность нефти равна 0,878 г/см³, а массовая доля испаряющейся нефти – 71,2 % [10]. Получаем значение средней молекулярной массы паров нефти 181 г/моль. Результаты расчетов показали, что с 1 мл сырой нефти получается 199 мл неконденсирующихся при 500 °С паров. В лабораторных экспериментах подача нефти составляет 0,3-3,5 мл/мин, что эквивалентно расходу газовой фазы в 3,6-41,8 л/ч. При диаметре лабораторного реактора 32 мм приведенная скорость газа (w_2) составит 0,0012-0,0144 м/с.

Газосодержание воздушножидкостной смеси определялось визуальным методом путем замера увеличения уровня жидкости при барботаже с точностью до 1%. Скорость всплытия и диаметр пузырьков определялись с помощью метода фотографирования. Диаметр пузырьков рассчитывался при сравнении на снимке видимого диаметра пузырька с эквивалент-

ным отрезком на миллиметровой бумаге с точностью 0,2-0,3 мм. Видеосъемка с частотой 50 кадров в секунду дает возможность определять время всплытия пузырька на фиксированную высоту с точностью 0,02 с.

6. Экспериментальные данные и их обработка

На начальном этапе основной задачей было установление границ между режимами барботаж и выяснение механизма отрыва пузырька от трубки при истечении его в жидкость. На рис. 2 отчетливо видны различия в гидродинамике при различных значениях w_z ($d_0 = 3$ мм, $D = 15$ мм, система воздух-вода). При $w_z \leq 0,2 - 0,3$ м/с наблюдается пузырьковый режим, при $0,3 < w_z < 0,5$ – пенный, при $w_z > 0,5$ м/с – струйный. Таким образом, при проведении экспериментов на лабораторном реакторе наблюдается исключительно пузырьковый режим барботаж. При таком режиме получены фотографии пузырька в момент его отрыва от отверстия трубки (рис. 3). По достижению отрывного диаметра пузырь мгновенно переходит в свободное движение. По данным [4] время нестационарного движения пузырька в зависимости от его диаметра составляет $10^{-3} - 10^{-5}$ с.



Рис. 2. Режимы барботаж: а – пузырьковый, б – пенный, в – струйный

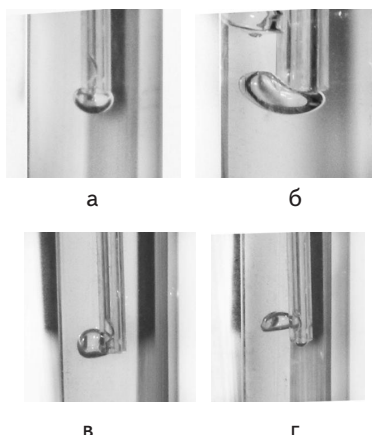


Рис. 3. Механизм образования и отрыва пузырька: а – образование; б – рост; в – отрыв; г – свободное движение

В табл. 3 представлены экспериментальные и расчетные значения гидродинамических характеристик системы воздух-жидкость при $d_0 = 4$ мм, $D = 32$ мм и $w_z = 0,15$ м/с, $h = 300$ мм.

Таблица 3

Сравнение экспериментальных и расчетных значений гидродинамических характеристик газожидкостной системы

Гидродинамическая характеристика	Формула для расчета	Бензин	Вода	Четыреххлористый углерод
Диаметр пузырька d_p , мм	(3)	1,81	2,46	1,49
	(4)	0,16	0,26	0,12
	эсп. значение	1,7	2,5	1,5
Газосодержание ϕ , доли	(5)	0,08	0,15	0,08
	(6)	0,21	0,18	0,20
	(7)	0,36	0,36	0,37
	эсп. значение	0,09	0,10	0,09
Скорость всплытия w , м/с	(8)	0,20	0,27	0,17
	(9)	0,20	0,25	0,17
	(10)	0,57	0,56	0,56
	эсп. значение	0,20	0,25	0,18

Формулы для расчета выбираются по сходимости с результатами экспериментов (табл. 3). Так, диаметр пузырьков лучше рассчитывать по формуле (3), газосодержание по формуле (5), но с поправкой на то, что значение константы C следует принять во всех случаях равной 1. Скорость всплытия пузырьков, рассчитанная по формулам (8) и (9) практически с одинаковой точностью совпадает с экспериментальными данными. Однако рекомендуется пользоваться формулой (8), так как в ней учитывается влияние диаметра пузырька на скорость всплытия.

В табл. 4 представлены результаты экспериментов, представляющие практический интерес и отражающие взаимосвязь основных параметров. Эксперименты проводились при постоянных значениях $h = 50$ мм и $D = 58$ мм.

По экспериментальным данным построена зависимость $\phi = f(w_z)$ (рис. 4).

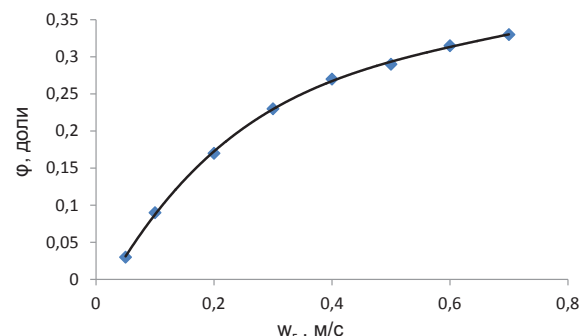


Рис. 4. Зависимость газосодержания ϕ от приведенной скорости газа w_z ($d_0 = 4$ мм, $D = 32$ мм, $h = 300$ мм, система четыреххлористый углерод-воздух)

Таблица 4

Результаты экспериментов

Жидкость	Диаметр отверстия трубки, d_0 , мм	Скорость воздуха, w_r , м/с	Диаметр пузырька, d_p , мм	Газосодержание, ф. доли	Площадь межфазной поверхности, S , m^2/m^3	Скорость всплытия пузырька w , м/с	Время всплытия, τ , с
Бензин	3	0,1	1,6	0,13	468	0,21	0,24
		0,2		0,22	833		
		0,3		0,30	1125		
	7	0,1	2,2	0,13	340	0,19	0,26
		0,2		0,22	605		
		0,3		0,30	817		
	11	0,1	2,5	0,13	300	0,19	0,27
		0,2		0,22	533		
		0,3		0,30	720		
Вода	3	0,1	2,2	0,13	340	0,28	0,18
		0,2		0,22	605		
		0,3		0,30	817		
	7	0,1	3,0	0,13	249	0,25	0,20
		0,2		0,22	444		
		0,3		0,30	600		
	11	0,1	3,4	0,13	220	0,24	0,21
		0,2		0,22	392		
		0,3		0,30	529		
Четыреххлористый углерод	3	0,1	1,4	0,13	535	0,18	0,29
		0,2		0,22	952		
		0,3		0,30	1285		
	7	0,1	1,8	0,13	416	0,16	0,30
		0,2		0,22	740		
		0,3		0,30	1000		
	11	0,1	2,0	0,13	374	0,16	0,31
		0,2		0,22	667		
		0,3		0,30	899		

Полученная нелинейная зависимость газосодержания от расхода газа, вероятно, связана с изменением объема всплывающих пузырьков по высоте барботажного слоя главным образом вследствие снижения гидростатического давления столба жидкости. Используя эту зависимость можно легко установить связь между объемным расходом газовой фазы и площадью межфазной поверхности.

7. Обсуждения и рекомендации

Для проведения процесса крекинга углеводородного сырья в расплавленных средах в промышленных масштабах рекомендуется поддерживать пенный режим ($w_r = 0,3 - 0,5$ м/с) работы реактора, что максимально увеличивает поверхность раздела фаз [11]. При расчете межфазной поверхности в разрабатываемом процессе учитывать наличие в нефти (или других углеводородах) ПАВ не всегда возможно, а из-за их малой поверхностной активности [10] в этом нет явной необходимости. Очевидно, большее влияние будет оказывать природа расплава, который в случае использования солей металлов является ионной жидкостью. Учитывая сложность физико-химических свойств систем газ-жидкость в реальных технологических процессах следует, вероятно, согласиться с практической нецелесообразностью попыток поиска обобщающих уравнений, пригодных для расчета удельной межфазной поверхности в промышленных барботажных реакторах.

При пузырьковом и частично пенном режиме время контакта газовой фазы со слоем жидкости практически не зависит от объемного расхода газа. Исходя из этого, время пребывания углеводородного сырья в расплаве главным образом можно регулировать, изменяя высоту слоя.

В лабораторных экспериментах время контакта может изменяться от 0,1 до 0,5 с, а удельная поверхность раздела фаз от 50 до 1800 m^2/m^3 .

8. Выводы

В результате проведенной экспериментальной работы определены основные положения в методике расчета времени контакта и поверхности раздела фаз для процесса крекинга углеводородного сырья в расплавленных средах. Определены границы гидродинамических режимов при барботаже. Полученные экспериментальные данные согласуются с имеющимися в литературе сведениями.

Литература

1. Зубцов, Е. И. Технология синтез-газа из угля в расплаве : дисс. ... канд. техн. наук : 05.17.01 / Зубцов Евгений Иванович. – Харьков, 2011. – 155 с.
2. Дильман, В. В. Методы модельных уравнений и аналогий в химической технологии [Текст] / В. В. Дильман, А. Д. Полянин. – М. : Химия, 1988. – 304 с.
3. Печуро, Н. С. Технология органических веществ [Текст] / Н. С. Печуро, О. Ю. Песин, В. Н. Конохов // Итоги науки и техники. – 1984. – Т. 9. – С. 3 - 59.
4. Кутателадзе, С. С. Гидродинамика газожидкостных систем [Текст] / С. С. Кутателадзе, М. А. Стырикович. – М. : Энергия, 1976. – 296 с.
5. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1 [Текст] / Ю. И. Дытнерский. – М. : Химия, 1995. – 405с.
6. Рамм, В. М. Абсорбция газов [Текст] / В. М. Рамм. – М. : Химия, 1976. – 656с.
7. Соколов, В. Н. Газожидкостные реакторы [Текст] / В. Н. Соколов, И. В. Доманский. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отделение), 1976. – 216 с.
8. Краткий справочник физико-химических величин. Издание девятое [Текст] / Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. – СПб. : Специальная литература, 1998. – 232 с.

9. George, J. Janz Molten Salts Handbook [Текст] / Janz George J. – New York : Academic Press Inc., 1967. – 602 с.
10. Технология переработки нефти. В 2-х частях. Часть 1. Первичная переработки нефти [Текст] / Под ред. О. Ф. Глаголевой и В. М. Капустина. – М. : Химия, КолосС, 2007. – 400 с.
11. Пенный режим и пенные аппараты [Текст] / Под ред. И. П. Мухленова и Э. Я. Тарата. – Л. : Химия, 1977. – 304 с.

УДК 678.8; 678:66.08/09

Досліджено люмінесцентні властивості наночастинок фосфатів лантану, допованих катіонами европію, з функціональною олігопероксидною оболонкою, вивчено кінетичні закономірності прищепленої полімеризації ініційованої з поверхні наночастинок. Функціоналізація поверхні прищепленою полімеризацією надає наночастинкам сумісності та/або можливості зв'язування з субстратами різної природи для використання при створенні люмінесцентних біосенсорів та маркерів клітин

Ключові слова: люмінесцентні наночастинок, прищеплена полімеризація, маркери клітин, функціональні олігопероксиди

Исследованы люминесцентные свойства наночастиц фосфатов лантана, допированных катионами европия, с функциональной олигопероксидной оболочкой, изучены кинетические закономерности привитой полимеризации инициированной с поверхности наночастиц. Функционализация поверхности привитой полимеризацией обеспечивает совместимость наночастиц и/или возможность связывания с субстратами различной природы для использования при создании люминесцентных биосенсоров и маркеров клеток

Ключевые слова: люминесцентные наночастицы, привитая полимеризация, маркеры клеток, функциональные олигопероксиды

ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ НАНО-РОЗМІРНІ МАРКЕРИ КЛІТИН НА ОСНОВІ ФОСФАТІВ ЛАНТАНУ

О. В. Шаповал

Кандидат хімічних наук, науковий співробітник
Кафедра радіоелектронних пристроїв та систем*
E-mail: shapovalav86@gmail.com

О. С. Мягkota

Аспірант
Кафедра органічної хімії*
E-mail: miahkota@gmail.com

Р. Р. Панчук

Кандидат біологічних наук, науковий співробітник**
E-mail: rpanchuk@ukr.net

В. В. Вістовський

Кандидат фізико-математичних наук, доцент***
E-mail: vistvv@gmail.com

Н. Є. Мітіна

Кандидат хімічних наук, ст. науковий співробітник
Кафедра технології органічних продуктів*
E-mail: nem@polynet.lviv.ua

А. С. Волошиновський

Доктор фізико-математичних наук, професор***
E-mail: avolosh@ukr.net

Р. С. Стойка

Доктор біологічних наук, професор**
E-mail: stoika@cellbiol.lviv.ua

О. С. Заіченко

Кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник
Кафедра органічної хімії*
E-mail: zaichenko@polynet.lviv.ua

*Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

**Відділ регуляції проліферації клітин та апоптозу
Інститут біології клітини НАН України
вул. Драгоманова, 14/16, м. Львів, Україна, 79005

***Кафедра експериментальної фізики
Львівський національний університет ім. Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 8, м. Львів, Україна, 79005

1. Вступ

Використання люмінесцентних маркерів дозволило значно розширити діапазон зон та підвищити чутливість методів аналізу в біомедичних дослідженнях [1, 2]. Традиційно для цієї мети викори-

стовують органічні люмінофори. Проте ряд недоліків, таких як низька фотостабільність, малий час зрушення люмінесценції і токсичність, обмежують їх придатність.

Люмінесцентні матеріали на основі фосфатів лантану, лютецію та інших солей, активовані іонами