

Очистка водных поверхностей от тонких масляных пленок

М.Н. Романова, А.Е. Лебедев, Д.В. Лебедев, И. С. Гуданов

Ярославский государственный технический университет, Ярославль

Аннотация: В статье исследуются процессы отделения тонких плёнок масляных жидкостей на основе аппаратов роторно-ленточного типа. Произведён анализ взаимодействия жидкостей и рабочего органа. Описана модель образования масляных плёнок и их отделения. Проведённые исследования создают предпосылки для разработки инженерных методик расчета конструктивных и режимных параметров роторно-ленточного устройства для образования эмульсионных пленок и очистки водных поверхностей от масляных пленок, что имеет важное экологическое значение.

Ключевые слова: эмульсия, плёнка, аппарат, масляное пятно, вязкость, очистка водной поверхности.

В химической промышленности известны аппараты для образования эмульсий, в основе которых лежит принцип использования погружного вращающегося цилиндра. Принцип действия подобных аппаратов основан на заборе жидкостей из определённого объёма, в который погружается рабочий орган, с последующим образованием на данном рабочем органе эмульсионной плёнки. При разборе принципа действия подобных аппаратов и построении математической модели можно сделать наблюдение о том, что данные процессы, как и применяемые при их проведении аппараты, могут быть использованы для решения задач по очистке водной поверхности от масляных плёнок.

Первым этапом при этом будет определение аппаратной части, её принципов работы и построение математической модели.

Для проверки теоретической модели образования эмульсии погруженным вращающимся цилиндром и определения значений опытных параметров модели спроектирована и изготовлена опытная установка, схема которой приведена на рис. 1, состоящая из монжусов исходных компонент эмульсии 1, баллона с азотом 2, подводящих трубопроводов 3 подачи жидкостей в устройство 4 для приготовления грубой эмульсии. Роторно-

ленточное устройство 4 состоит из корпуса 5, двух барабанов 6 и 7, один из которых частично погружен в ванну 8. Барабаны соединены плоской лентой 9, наклоненной под углом α к горизонту, транспортирующей забранные из ванны 8 в виде пленок исходные жидкости. Барабан 7 снабжен приводом 10. Съем эмульсии осуществляется скребком 11.

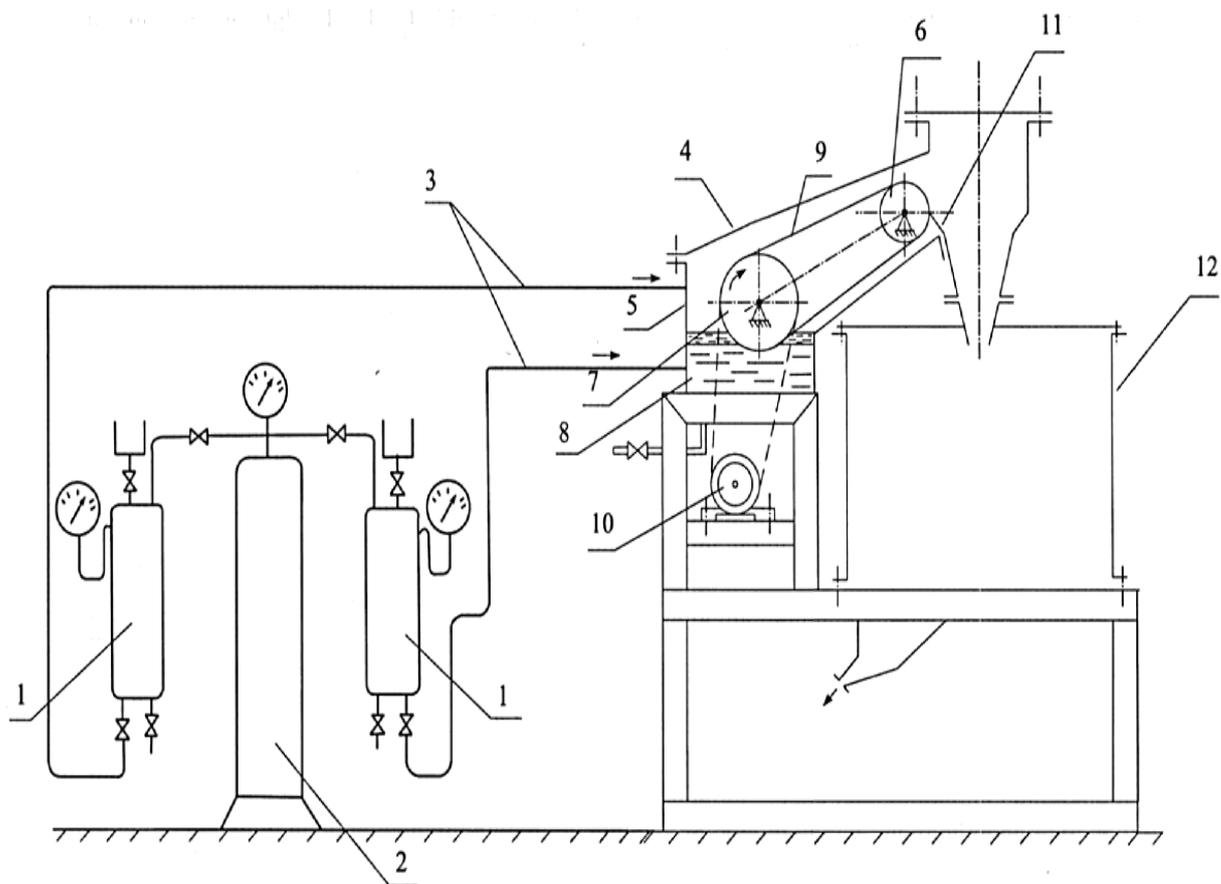


Рис. 1. – Принципиальная схема роторно-ленточного устройства

Барабанно-ленточное устройство работает следующим образом. При вращении барабана 7 происходит забор жидкостей из ванны 8 с образованием эмульсионной пленки из двух несмешивающихся жидкостей, которая перемещается лентой 9, снимается скребком 11 и поступает в сборник 12.

Представленная схема является принципиальным изображением устройств с подобными рабочими органами и принципом действия, где рабочим органом роторного дозатора эмульсий или барабанно-ленточного устройства является, частично заглубленный, примерно на глубину масляной пленки, вращающийся цилиндр с частью ленты по периметру.

Определение опытных параметров проводилось обработкой экспериментальных данных и сопоставлением их с теоретическими зависимостями по двум независимым опытам: составу эмульсии – Y_{wp} и производительности – Q_v по всей группе изменяемых параметров.

При постановке эксперимента по данной модели и выявлении экспериментально полученных значений (таблица № 1) а также расчёту, согласно алгоритму образования эмульсии [1], можно сформулировать следующие выводы:

1. Увеличение вязкости более вязкой и легкой составляющей эмульсии приводит к увеличению общего расхода эмульсии и водной составляющей эмульсии.
2. Установлен эффект резкого увеличения водной составляющей при уменьшении толщины масляной пленки.
3. Алгоритм решения задачи по составу и расходным характеристикам эмульсионной пленки, извлекаемой погруженным вращающимся цилиндром (рис. 2.5) полностью определяет параметры этой пленки и является основой для решения задачи об очистке водной поверхности от масляных пленок.

В соответствии с составленной математической моделью образования эмульсионных пленок, в частности, определяющей группу "внешних" ее параметров – состав компонент эмульсии (Y_{wp}), а также объемный расход масляной компоненты (Q_p), возникает возможность расчета основного показателя процесса очистки водных поверхностей от масляных пленок – $t_{оч}$ (времени очистки).

Таблица № 1

Опытные значения внешних параметров процесса образования эмульсии погруженным вращающимся цилиндром

№ опыта	Исходные параметры					Параметры эмульсии	
	Тип масла	$R_0(M)$	n об/мин	$b_{p_0} \cdot 10^3$ м	μ_p $\frac{кг}{м \cdot с}$	$Y_{wp} = \frac{\text{вода}}{\text{масло}}$	$Q_v \left(\frac{м^3}{с}\right) \cdot 10^6$
1	Масло 3	0,06	115	0,8	0,3	1,49	20,06
2	Масло 3	0,09	77	0,8	0,3	1,2	18,0
3	Масло 4	0,09	70	0,8	0,176	1,07	16,7
4	Масло 1	0,09	70	0,8	0,078	1	12,5
5	Масло 1	0,09	115	0,8	0,078	0,95	22,2
6	Масло 4	0,06	115	0,08	0,176	1,25	17,1
7	Масло 1	0,06	115	0,8	0,078	0,82	13,2
8	Масло 4	0,09	115	0,8	0,176	1,5	28,1
9	Масло 3	0,09	115	0,8	0,3	1,65	29,8
10	Масло 4	0,09	155	0,8	0,176	1,25	31,9
11	Масло 1	0,09	155	0,8	0,078	1,7	39,2
12	Масло 4	0,12	115	0,8	0,176	1,58	32,3
13	Масло 4	0,09	77	1,6	0,176	0,82	19,2
14	Масло 4	0,09	70	0,4	0,176	2,15	12,5

Удаление масляной пленки осуществляется устройством, представляющим собой медленно вращающийся цилиндр, частично, примерно на глубину порядка b_{p_0} , заглубленный в объем жидкости.

Математическая модель образования эмульсионной пленки подобными аппаратами [2] также может быть применена и к решению задачи очистки водной поверхности от масляных пленок.

Составим интегральное соотношение, описывающее убыль более вязкой жидкости (масляной пленки) с водной поверхности

$$V_p^{(0)} - \int_0^t Q_p dt = V_p(t)$$

(1)

где

$$V_p(t) = b_p(t) \cdot S_p$$

(2)

определяет объем масляной пленки, остающейся в момент времени t на водной поверхности с площадью масляного пятна - $S_p = const$;

$$V_p^{(0)} = b_{p0} \cdot S_p \quad (3)$$

определяет начальный объем масляного пятна, а

$$Q_p = Y_p \omega_0 R_0 \sqrt{k_a k_v} b_p(t) l$$

(4)

определяется, как и объёмный расход эмульсии.

Заметим, что Y_p определяет безразмерную объемную долю масляной пленки, извлекаемой из масляного пятна в момент времени t .

$$Y_p = \frac{(2 - a_1(x^{\max}) - x^{\max}) \cdot x^{\max}}{2}$$

(5)

что следует из алгоритма образования эмульсии [1], являющегося решением экстремальной задачи.

Дифференцируя по времени (1) с учетом (4) получаем дифференциальное уравнение очистки водной поверхности от масляных пятен

$$\frac{db_p}{dt} = - \frac{Y_p \omega_0 R_0 \sqrt{k_a k_v} b_p l}{S_p}$$

(6)

начальное условие, для которого имеет вид при $t = 0$

$$b_p(0) = b_p \quad (7)$$

Уравнение (6) должно решаться до выполнения условия

$$Q_p(T_p) \leq q_p, \quad (8)$$

служащим для определения времени очистки - Тр.

Следует заметить, что решение задачи Коши (7) для уравнения (6) может быть осуществлено только численными методами. Например, стандартной процедурой Рунге-Кутты [6].

Таким образом, при решении уравнения (6) в выражении для Y_p (5) и b_{p0} [1] следует полагать $b_{p0} = b_p(t)$.

Математическая реализация алгоритма очистки водных поверхностей от масляной пленки осуществлялась в Mathcad 6.0.

На рис. 2 показано сопоставление расчетных и опытных данных по времени очистки водных поверхностей от масляных пленок в зависимости от параметров модели: b_p — начальной толщины пленки, μ_p — вязкости жидкости пленки, ω_0 — угловой скорости и R_0 — радиуса роторного очистителя.

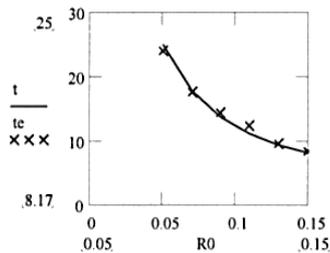
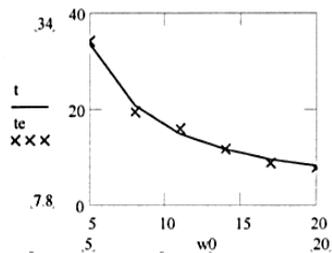
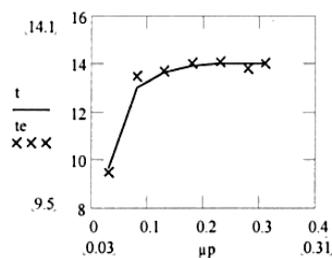
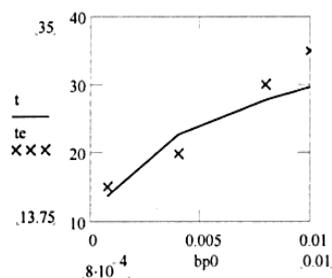


Рис. 2. – Сопоставление опытных данных и расчетных зависимостей времени очистки по параметрам: $b_{p0}, \mu_p, \omega_0, R_0$.

Время очистки определялось по достижению предельно допустимой толщины масляной пленки в базовом опыте. Предельная толщина $b_{p0}(\text{min})$ выбиралась из условия начала разрыва пленки и образования масляных пятен, что составляло в базовом опыте $b_{p0}(\text{min}) \sim 0.05 \cdot b_{p0}$. Опытные данные по временам очистки определялись одновременно при проведении исследований по образованию эмульсий на опытной установке (рис.1).

Установлены предельно допустимые значения параметров, для которых предлагаемая теоретическая модель очистки остается справедливой: $b_{p0}(\text{max}) \sim 10^{-2} \text{ м}$, значение комплекса $\omega_0 R_0$ оценивается по верхней границе из условия $w_s \omega_0^2 R_0^2 \rho_p \nu b_{p0} / \sigma_p < W^{\text{кр}}$, где значение $W^{\text{кр}} \approx 10$ следует из начала волнообразования на свободной поверхности эмульсионной пленки [4, 8] в зоне ее образования [1]. Следует заметить, что на практике легче определить $\omega_{\text{кр}}$ и $R_{\text{кр}}$ и опытным путем по началу режима разбрызгивания.

Таким образом, проведённые исследования создают предпосылки для разработки инженерных методик расчета конструктивных и режимных параметров роторно-ленточного устройства для образования эмульсионных пленок и очистки водных поверхностей от масляных пленок, что имеет важное экологическое значение.

Литература

1. Романова М. Н., Лебедев А.Е., Лебедев Д.В. Моделирование начальной области образования эмульсии // Инженерный вестник Дона, 2019, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5638



2. Романова М. Н., Лебедев А.Е., Лебедев Д.В. Моделирование процесса взаимодействия вращающегося цилиндра с несмешивающимися жидкостями. // Инженерный вестник Дона, 2019, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5619
3. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. - М.: Физматгиз, 1952. - 670с.
4. Гельперин И. И., Носов Г.А., Макотин А.В. Определение толщины жидкой пленки, остающейся на поверхности твердого тела при его извлечении из жидкости // Теор. основы хим. Технологии - 1971, - т.5, № 3-с. 429-437.
5. Бронштейн И. Н. Справочник по высшей математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. - М.: Наука, 1986.- 544 с.
6. Hodges P.K.V. Hydraulic Fluids. NY 10158-0012 USA Bsc.: F.Inst.Pet., 1996. – 167 p.
7. Плановский А. Н., Рамм В.М., Качан С.Э. Процессы и аппараты химической технологии. - М.: Госхимиздат, 1962.- 847 с.
8. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1969. – 742с.
9. Look R. C. // Quart. J. Mech. Appl. Math. 1951. V.4. – p.42.
10. Tharmalingam S., Wilkinson W.W. The coating of newtonion liquids onto a rotating voll // I.Chem. Eng. Sei. 1978. V.33. - pp.1481 - 1487.

References

1. Romanova M. N., Lebedev A. E., Lebedev D. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2019. № 1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5638
2. Romanova M. N., Lebedev A. E., Lebedev D. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2019. № 1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5619
3. Levich V. G. Fiziko-khimicheskaya gidrodinamika [Physico-chemical hydrodynamics]. Fizmatgiz. 1952. 670 p.



4. Gel'perin I. I., Nosov G. A., Makotin A.V. Teor. osnovy khim. Tekhnologii. 1971. V.5. № 3. pp. 429-437.
5. Bronshteyn I. N., Semendyayev K. A. Spravochnik po vysshey matematike [Handbook of advanced mathematics]. Nauka, 1986. 544 p.
6. Hodges P.K.B. NY 10158-0012 USA Bsc: F. Inst. Pet, 1996. 167 p.
7. Planovskiy A. H., Ramm V. M., Kachan S.E. Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Processes and devices of chemical technology]. Goskhimizdat. 1962. 847 p.
8. SHlikhting G. Teoriya pogranichnogo sloya [The theory of the boundary layer]. Nauka. 1969. 742 p.
9. Look R. C. Quart. J. Mech. Appl. Math. 1951. V.4. p.42.
10. Tharmalingam S., Wilkinson W.W. The coating of newtonion liquids onto a rotating voll. I.Chem. Eng. Sei. 1978. V.33. pp.1481-1487.