



УДК 66.09

## ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ ПРОПЕЛЛЕРНОЙ МЕШАЛКИ НА СКОРОСТЬ ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ МАСЛЯНОЙ ФРАКЦИИ В РЕАКТОРЕ СМЕШЕНИЯ

Р.Е. Липантьев, В.П. Тутубалина

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8923-2865>, [dozor\\_energo@mail.ru](mailto:dozor_energo@mail.ru)

**Резюме:** Исследовано влияние числа оборотов пропеллерной мешалки на концентрацию сульфоксидной серы в масляной фракции арланской нефти при окислении сульфидов этой фракции пероксидом водорода в присутствии кислого катализатора – смеси муравьиной и серной кислот – в реакторе смешения. Экспериментально получены зависимости концентрации сульфоксидной серы в масляной фракции и скорости реакции окисления сульфидов фракции в сульфоксиды от интенсивности перемешивания гетерогенной смеси в реакторе смешения.

**Ключевые слова:** масляная фракция, окисление, сульфоксиды, реактор.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-79-83

**Для цитирования:** Липантьев Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние числа оборотов пропеллерной мешалки на скорость окисления сульфидов масляной фракции в реакторе смешения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 9-10. С. 79-83. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-79-83.

## EFFECT OF PROPELLER MIXER TURNS NUMBER ON THE SULFIDES OXIDATION RATE IN THE OIL PHASE IN A MIXING REACTOR

R.E. Lipantyeu, V.P. Tutubalina

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8923-2865>, [dozor\\_energo@mail.ru](mailto:dozor_energo@mail.ru)

**Abstract:** The effect of the rotation number of the propeller mixer on the concentration of sulfoxide sulfur in the oil fraction of Arlan oil during the oxidation of this fraction sulfides with hydrogen peroxide along with an acid catalyst, a mixture of formic and sulfuric acids in a mixing reactor, was studied. The dependences of the concentration of sulfoxide sulfur in the oil fraction and the reaction rate of the oxidation of the fraction sulfides to sulfoxides are obtained experimentally depending on the intensity of heterogeneous blend mixing in the blending reactor

**Key words:** oil fraction, oxidation, sulfoxides, reactor.

**For citation:** R.E. Lipantyeu, V.P. Tutubalina Effect of propeller mixer turns number on the sulfides oxidation rate in the oil phase in a mixing reactor // Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 9-10. pp. 79-83. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-79-83.

### Введение

Основой технологии производства нефтяных сульфоксидов из нефтяного сырья является селективное окисление сераорганических соединений фракций нефти пероксидом водорода с последующим выделением образовавшихся продуктов окисления экстракцией. Рассматриваемые процессы протекают в гетерогенных системах жидкость-жидкость в реакторах смешения [1, 2].

Задачей настоящего исследования является определение оптимальной скорости вращения механической мешалки, обеспечивающей высокую интенсивность массообменного процесса, протекающего в гетерогенной системе жидкость-жидкость.

### Основные результаты работы

Исследование влияния скорости перемешивания на процесс образования сульфоксидов проводили на примере масляной фракции арланской нефти с содержанием сульфидной серы, равным 0,77 %. Окисление сульфидной серы осуществляли 30%-ным раствором пероксида водорода в количествах, эквивалентных содержанию сульфидной серы во фракции [2, 4, 5].

Скорость вращения механической пропеллерной мешалки [3] изменяли в широком интервале от 1,5 до 15 об/с. Температура в реакторе смешения поддерживалась постоянной при помощи термостата и составляла 80 °С в течение проведения эксперимента. Данная температура обеспечивала превращение сульфидной серы в сульфоксидную [2, 4]. Продолжительность пребывания масляной фракции в реакторе смешения составляла 10 мин. В качестве катализатора в исследуемой системе использовали смесь муравьиной и серной кислот в соотношении 1:1, взятых в количестве 0,1 моль на 1 г-атом сульфидной серы масляной фракции [6, 7]. Полученные в ходе эксперимента данные представлены на рис. 1, 2.

Зависимость выхода сульфоксидов от скорости вращения пропеллерной мешалки показана на рис. 1.

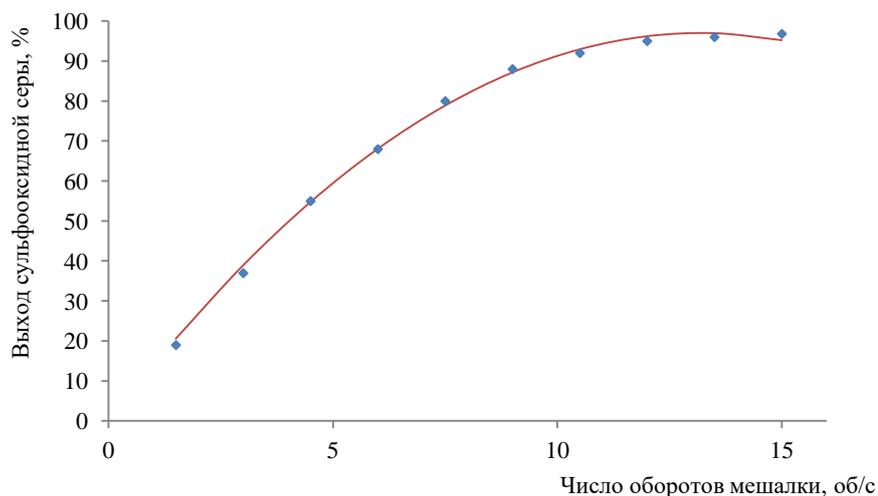


Рис. 1. Зависимость выделения сульфоксидной серы в масляной фракции от числа оборотов мешалки в реакторе смешения

В соответствии с данными рис. 1 количество образовавшихся сульфоксидов определяется скоростью диффузии пероксида водорода в масляную фракцию, поэтому скорость перемешивания гетерогенной системы масляная фракция – пероксид водорода

относится к основным факторам, увеличивающим скорость диффузии пероксида водорода в масляной фракции [8–10].

Математическое описание полученных экспериментальных данных, представленных на рис. 1, 2, производилось при помощи программного продукта *Advanced Grapher*. Изменение концентрации сульфоксидной серы в масляной фракции от числа оборотов мешалки ( $w$ ) описывается следующим уравнением (рис. 1.):

$$S_{SO} = -0,558 \cdot w^2 + 14,736 \cdot w - 0,293.$$

Из рис. 1. видно, что с увеличением интенсивности вращения пропеллерной мешалки от 1,5 до 13,3 об/с содержание сульфоксидной серы в масляной фракции растет. Так, повышение числа оборотов мешалки от 13,3 до 15,0 об/с увеличивает содержание сульфоксидной серы в масляной фракции всего на 0,3 %, поэтому повышать число оборотов мешалки свыше 13,3 об/с нецелесообразно. Оптимальное число оборотов мешалки обеспечивает максимальный выход сульфоксидной серы в масляной фракции, равный 98,2 %.

Зависимость скорости реакции образования сульфоксидов ( $r$ ) от интенсивности перемешивания показана на рис. 2.

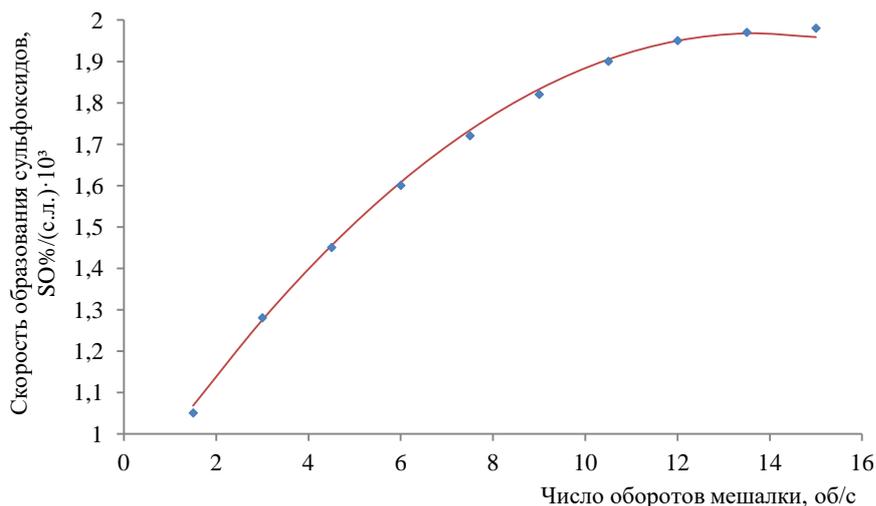


Рис. 2. Зависимость скорости образования сульфоксидов от интенсивности вращения мешалки

По экспериментальным данным рис. 2 можно записать зависимость для скорости образования сульфоксидов в масляной фракции арланской нефти:

$$r = -0,006 \cdot w^2 + 0,165 \cdot w + 0,834.$$

В соответствии с данными рис. 2 интенсивность вращения мешалки оказывает существенное влияние на скорость образования сульфоксидов в широком интервале перемешивания от 1,5 до 13,3 об/с. В данном интервале скорость образования сульфоксидов возрастает от  $1,078 \cdot 10^{-3}$  до  $1,975 \cdot 10^{-3}$  SO%/с.л., т.е. в 1,83 раза, или на 83 %. Дальнейшее увеличение интенсивности вращения мешалки до 15 об/с и выше способствует росту скорости образования сульфоксидов всего на 0,15 %.

### Обсуждение результатов работы

Таким образом, интенсивность перемешивания, равная 13,3 об/с, позволяет получить максимальную скорость образования сульфоксидов, достигающую  $1,975 \cdot 10^{-3}$  SO%/с.л. В связи с этим данную скорость следует считать оптимальной, т.к. она позволяет превратить до 98,2 % сульфидной серы масляной фракции в сульфоксиды.

### Выводы

1. Изучено влияние интенсивности перемешивания на выход сульфоксидов в процессе окисления сульфидов масляной фракции арланской нефти пероксидом водорода в присутствии смеси муравьиной и уксусной кислот.
2. Установлена зависимость скорости образования сульфоксидов в масляной фракции от интенсивности перемешивания реакционной смеси пропеллерной механической мешалкой в интервале от 1,5 об/с до 13,3 об/с.
3. Найдены зависимости концентрации сульфидной серы в масляной фракции и скорости образования сульфоксидов от числа оборотов пропеллерной мешалки в реакторе смешения.

### Литература

1. Акопян А.В. Окислительное обессеривание углеводородного сырья пероксидом водорода в присутствии солей переходных металлов: дис. канд. техн. наук: 02.00.13 / Акопян Аргам Виликович. Москва, 2015. 228 с.
2. Караулова Е.Н. Химия сульфидов нефти. М.: Наука, 1970. 136 с.
3. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2014. 1758 с.
4. Тутубалина В.П. Сероорганические соединения нефтяных фракций и методы их выделения. Монография. М.: ЦНИИ, 1995. №92. 106 с.
5. Мустафин Х.В. Технология производства нефтяных сульфоксидов: дис. канд. техн. наук: 05.17.04 / Мустафин Харис Вагизович. Казань, 2000. 134 с.
6. Липантьев Р.Е. Влияние режимных параметров на коэффициент массоотдачи в процессе окисления сульфидов масляной фракции пероксидом водорода / Липантьев Р.Е., Харлампида Х.Э., Тутубалина В.П. // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т.20, №11. С. 36–40.
7. Зарифянова М.З., Вафина С.Д., Тунцева С.Н., Валиуллина Р.Р. Экстракция нефтяных сульфоксидов из оксидатов дизельных фракций изопропиловым спиртом // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т.15, №17. С. 218–219.
8. Verschuren I.L.M. Effect of mixing on the product quality in semi-batch stirred tank reactors / I.L.M. Verschuren, J.G. Wijers, J.T.F. Keurentjes, A.I.Ch.E. J. (2001). V47, (8). P.1731–1739.
9. Гайнуллина Л.Р., Тутубалина В.П., Харлампида Х.Э. Сераорганические соединения масляной фракции арланской нефти // Вестник технологического университета. 2017. Т.20. №10. С. 67–69.
10. Wimer D.C. Titration of sulfoxide in acetic anhydride // Analytical Chem. 1958. V. 30. P. 2060.

### Авторы публикации

**Липантьев Роман Евгеньевич** – канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Инженерная экология и рациональное природопользование» (ИЭР) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

**Тутубалина Валерия Павловна** – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

### References

1. Akopyan A.V. Oxidative desulfurization of hydrocarbon raw materials with hydrogen peroxide in the presence of salts of transition metals: the dissertation of a Cand.Tech.Sci 02.00.13 / Akopyan Argam Vilikovich. Moscow, 2015. 228 p.
2. Karaulova E.N. Chemistry of oil sulphides. Moscow: Nauka, 1970. 136 p.
3. Ainstein V.G., Zakharov M.K., Nosov G.A. Processes and apparatus of chemical technology. General course. M.: Bean. Laboratory of Knowledge, 2014. 1758 p.

4. Tutubalina V.P. Serogorganic compounds of petroleum fractions and methods for their isolation. Monograph. Moscow: Central Research Institute, 1995. №92. 106 p.

5. Mustafin H.V. Technology of production of petroleum sulfoxides: the dissertation of a Cand.Tech.Sci. : 05.17.04 / Mustafin Haris Vagizovich. Kazan, 2000. 134 p.

6. Lipantiev R.E. The effect of regime parameters on the mass transfer coefficient in the process of oxidation of sulfides of the oil fraction with hydrogen peroxide / Lipant'ev R.E., Kharlampidi Kh.E., Tutubalina V.P. // Bulletin of Kazan Technological University. 2017. T.20, № 11. P. 36–40.

7. Zarifyanova M.Z., Vafina S.D., Tuntseva S.N., Valiullina R.R. Extraction of petroleum sulfoxides from oxidates of diesel fractions with isopropyl alcohol // Bulletin of Kazan Technological University. 2012. T.15, №17. C. 218–219.

8. Verschuren I.L. M. Effect of mixing on the product quality in semi-batch stirred tank reactors / I.L. M. Verschuren, J.G. Wijers, J.T. F. Keurentjes. A.I.Ch.E. J. (2001). V.47, (8). P.1731–1739.

9. Gainullina L.R., Tutubalina V.P., Kharlampidi H.E. Seroorganic compounds of the oil fraction of Arlan oil // Bulletin of the Technological University. 2017. T.20, №10. from. 67–69.

10. Wimer D.C. Titration of sulfoxide in acetic anhydride // Analytical Chem. 1958. V. 30. P. 2060.

**Authors of the publication**

**Roman E. Lipant'ev** – PhD (Techn) Sci, lecturer Department Engineering Ecology and Rational Nature Management, Kazan State Energy University.

**Valeria P. Tutubalina** – Doc. Sci. (Techn.), Professor, Chief Researcher, Kazan State Energy University.

**Поступила в редакцию**

**28 февраля 2018 г.**