

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133). С. 143-151. ISSN 1998-8443 (print)

Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 5 (133). P. 143-151. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 622.25.05

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-5-143-151

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ОЧИЩЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ

Рашад Шохрат оглу Маммадли¹, Амида Джабраил кызы Алиева²

^{1,2}Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

¹r_mammadli@list.ru

²amidec.b@gmail.com

Автор, ответственный за переписку: Рашад Шохрат оглу Маммадли,
r_mammadli@list.ru

Аннотация. Статья посвящена оптимизации фотокаталитического метода очищения земельных участков, загрязненных нефтью. Сформулирована и решена задача оптимизации очищения почвы, загрязненной полициклическими ароматическими углеводородами типа фенантрен. Принято, что кинетика процесса очищения соответствует уравнению кинетики псевдо первого рода модели Ленгмюра - Хинкельвуда.

Установлено, что скорость процесса фотокатализа может быть изменена путем изменения содержания влаги в почве.

На основе известного уравнения кинетики сформулирована задача по вычислению оптимального вида временной зависимости скорости фотокатализа, обеспечивающего максимальное количество очищенной почвы. Показано, что полученное при этом решение обеспечивает минимум целевого функционала. Для получения решения на максимум рассмотрена возможность применения известного метода линеаризационной оптимизации. На этой основе получено общее решение сформулированной оптимизационной задачи на максимум.

Ключевые слова: фотокатализ, загрязнение, оптимизация, кинетическая модель, нефть, почва

Для цитирования: Маммадли Р. Ш., Алиева А. Дж. Вопросы оптимизации фотокаталитического очищения земельных участков, загрязненных нефтью // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133), С. 143-151. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-5-143-151>.

Original article

OPTIMIZATION OF PHOTOCATALYTIC CLEANING OF OIL-CONTAMINATED LAND AREAS

Rashad Sh. Mammadli¹, Amida D. Alieva²

^{1,2}National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

¹r_mammadli@list.ru

²amidec.b@gmail.com

Corresponding author: **Rashad Sh. Mammadli**, r_mammadli@list.ru

Abstract. The article is devoted to the optimization of the photocatalytic method for the purification of oil-contaminated land plots. The problem of optimizing the purification of soil contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons of the phenanthrene type has been formulated and solved. It is accepted that the kinetics of the purification process corresponds to the kinetic equation of the pseudo first kind of the Langmuir - Hinkelwood model.

It was found that the rate of the photocatalysis process can be changed by changing the moisture content in the soil.

On the basis of the well-known equation of kinetics, the problem of calculating the optimal form of the time dependence of the rate of photocatalysis, which provides the maximum amount of cleaned soil, is formulated. It is shown that the solution obtained in this case provides the minimum of the objective functional. To obtain a solution to the maximum, the possibility of using the well-known method of linearization optimization is considered. On this basis, a general solution of the formulated optimization problem to the maximum is obtained.

Keywords: photocatalysis, pollution, optimization, kinetic model, oil, soil

For citation: Mammadli R. Sh., Alieva A. D. Voprosy optimizatsii fotokataliticheskogo ochishcheniya zemel'nykh uchastkov, zagryaznennykh nef'tyu. [Optimization of Photocatalytic Cleaning of Oil-Contaminated Land Areas]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nef'ti i nef'teproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2021, Issue 5 (133), pp. 143-151. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-5-143-151>.

Введение

Известные методы очистки земельных участков от нефти, такие как выжигание, экстракция, биологические методы, являются малоэффективными [1-3] и приводят к вторичному загрязнению окружающей среды, к тому же дорогостоящие.

В последние годы был опубликован ряд работ, посвященных использованию полупроводников в качестве фотокатализаторов, а солнечной энергии - в качестве активатора процесса деградации органических загрязнителей. Как было отмечено в работе [4], применение таких соединений как барий - титанат, калиум - титанат и кальций - титанат показало наличие эффективного результата при модификации катализатора с использованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (рисунок 1).

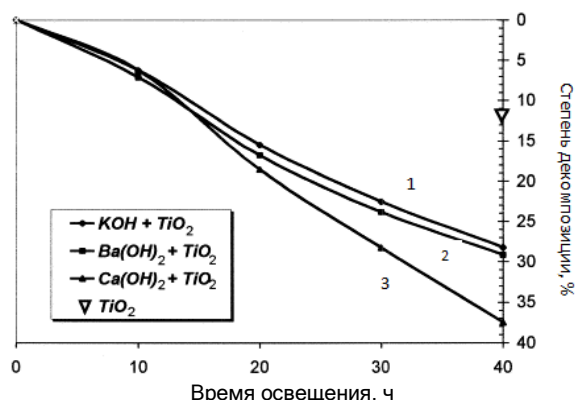


Рисунок 1. Зависимость степени декомпозиции нефтяного загрязнения почвы при использовании TiO_2 , модифицированного с использованием KOH (1); $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (2); $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (3), в зависимости от времени фотоактивации [4]

Figure 1. Dependence of the degree of decomposition of oil pollution of the soil when using TiO_2 , modified with the use of KOH (1); $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (2); $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (3), depending on the photoactivation time [4]

Как отмечается в работе [5], фотодegradация органических загрязнителей в почве

зависит от таких факторов, как размеры частиц почвы, толщина излучаемого слоя, интенсивность света, содержание в почве гумических веществ, влагосодержание почвы.

Согласно работе [6], TiO_2 проявляет активность в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне, в то время как соединение типа $\text{Fe} - \text{TiO}_2$ активно как в видимом, так и УФ диапазоне. Это объясняется смещением максимума в спектре поглощения $\text{Fe} - \text{TiO}_2$ в сторону красных длин волн.

Как указывается в работе [7], увеличение концентрации TiO_2 в реакторе не всегда приводит к увеличению скорости деградации сырой нефти. Максимальная скорость деградации нефти наблюдалась при концентрации 2 % добавленной TiO_2 .

Наличие максимума в удалении нефти в зависимости от концентрации TiO_2 также отмечается в работе [8]. Согласно этой работе, процесс удаления нефтяных пятен может быть описан кинетическим уравнением первого порядка. При этом постоянные составляют 0.136 min^{-1} и 0.183 min^{-1} .

Согласно работе [9], для повышения эффективности деградации сырой нефти путем смещения спектра поглощения TiO_2 в сторону красной зоны осуществляется добавление в TiO_2 азота.

Таким образом, появляется возможность более эффективно использовать натуральный солнечный свет. Такое смещение спектра поглощения проиллюстрировано на рисунке 2.

На рисунке 3 приведено общее представление проводимых экспериментальных исследований зависимости степени деградации сырой нефти от концентрации TiO_2 и интенсивности внешнего излучателя.

Вышеизложенное указывает на технологические возможности, существующие для повышения эффективности декомпозиции путем внесения добавок в TiO_2 .

Вместе с тем, если рассматривать весь процесс декомпозиции в качестве кинетического процесса, то можно выявить дополнительную возможность для оптимизации всего процесса декомпозиции.

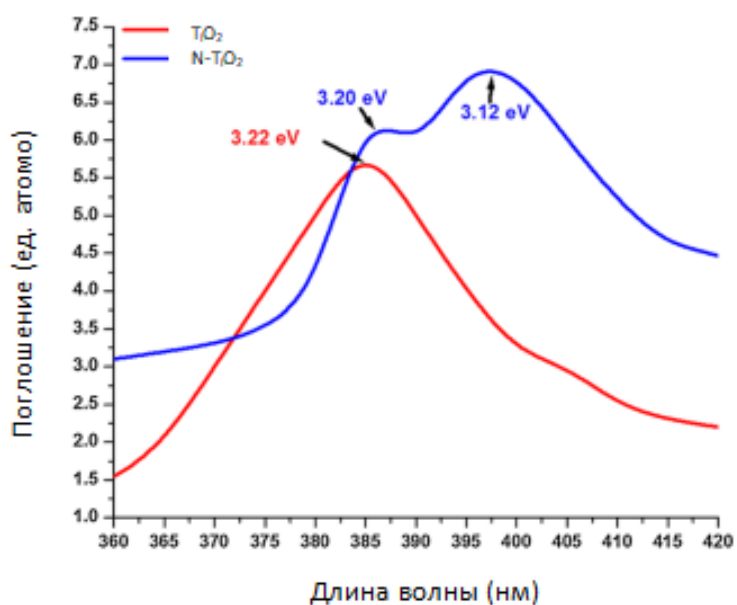


Рисунок 2. Эффект смещения спектра поглощения TiO_2 в результате его смешивания с азотом [9]

Figure 2. The effect of the shift of the absorption spectrum of TiO_2 as a result of its mixing with nitrogen [9]



Рисунок 3. Общее представление проводимых экспериментальных работ по исследованию декомпозиции нефтяного загрязнения почвы в зависимости от концентрации TiO_2 в почве

Figure 3. General presentation of the ongoing experimental work on the study of the decomposition of oil pollution in the soil depending on the concentration of TiO_2 in the soil

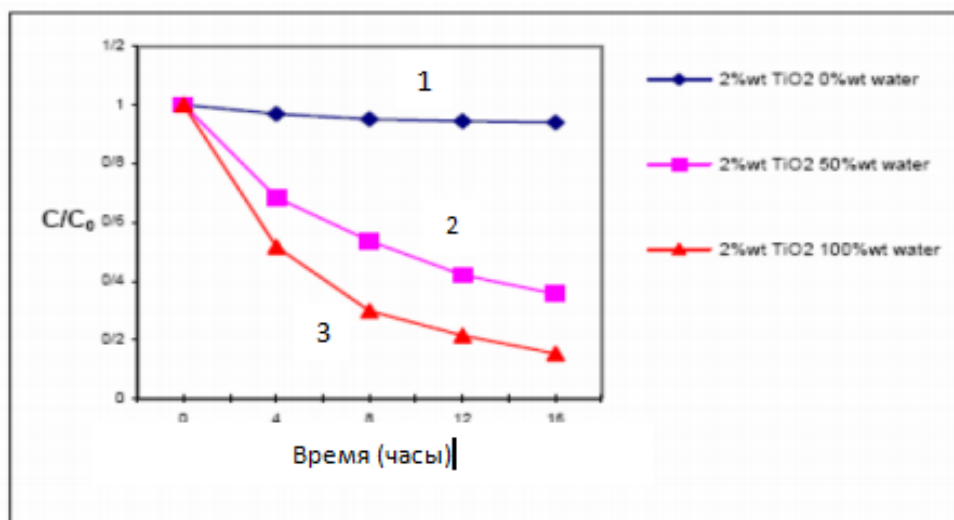
Ниже излагается предлагаемый метод оптимизации процесса деградации сырой нефти в почве путем организации адаптивного кинетического процесса.

Предлагаемый метод

Изложим теоретические и экспериментальные основы предлагаемого метода. Экспериментальные исследования по очищению почвы от ПАУ при использовании катализатора типа TiO_2 показали дополнительные

возможности по повышению эффективности фотокаталитического процесса [10].

Отметим, что важность исследования таких полиароматических углеводородов, как фенантрен объясняется их канцерогенностью, каковыми также являются бензопирен и нафтаген. Исследования, проведенные в [10], показали возможность ускорения фотокаталитического процесса путем: а) увеличения концентрации катализатора (TiO_2) и б) увеличения влажности почвы. Результаты воздействия второго фактора отображены на рисунке 4.



C/C_0 - отношение текущей концентрации;

1 - 2 % TiO_2 и 0 % влаги;

2 - 2 % TiO_2 и 50 % влаги;

3 - 2 % TiO_2 и 100 % влаги

C/C_0 - ratio of the current concentration;

1 - 2 % TiO_2 and 0 % moisture;

2 - 2 % TiO_2 and 50 % moisture;

3 - 2 % TiO_2 and 100 % moisture

Рисунок 4. Повышение эффективности фотокаталитического процесса путем повышения влажности почвы в пределах (0-100 %)

Figure 4. Increasing the efficiency of the photocatalytic process by increasing soil moisture in the range (0-100 %)

Аналогичные экспериментальные исследования, проведенные в [11, 12], показали, что процесс фотодеградациии различных типов ПАУ хорошо описывается моделью Ленгмюра - Хинкельвуда. Скорость катализа в этой модели определяется следующим образом:

$$r_R = -\frac{dC_R}{dt} = \frac{k_r k C_R}{1 + k C_R}, \quad (1)$$

где r_R - скорость реакции фотокатализа;

C_R - концентрация реактанта;

t - время фотоосвещения;

k_r - скорость реакции;

k - коэффициент адсорбции.

Интегрирование (1) позволяет получить при малой величине C_{R0} следующее уравнение

$$-\ln\left(\frac{C_R}{C_{R_0}}\right) = k_0 \cdot t. \quad (2)$$

Выражение (2) является кинематическим уравнением псевдопервого порядка, где k_0 является кажущейся скоростью фотодеградациии.

Предлагаемый метод ускорения фотодеградационного процесса заключается в последовательном изменении влажности почвы во времени, что приводит к изменению величины k_{app} , т.е. появлению функциональной зависимости

$$k_0 = k_0(t). \quad (3)$$

Появление функции (3) приводит к функциональной зависимости

$$C_R = C_R(t). \quad (4)$$

Таким образом, предлагаемый метод математически может быть интерпретирован следующим образом:

Для кинетической модели реакции фотокатализа следует вычислить такую функ-

цию $k_{app}(t)$, при которой интегральная величина $C_R(t)$, достигает максимума, т.е.

$$\int_0^{t_m} C_R(t) dt \rightarrow \max. \quad (5)$$

Покажем, что при наложении некоторого ограничения на допустимый подкласс выбора функции $k_{app}(t)$ задача (5) может быть сформулирована с применением метода вариационной оптимизации.

Постановка задачи оптимизации кинетики процесса фотокатализа

Прежде всего, проанализируем вопрос о формировании функционала цели на базе выражения (2). Из выражения (2) с учетом (3) получим:

$$\ln C_R = \ln C_{R_0} - k_0(t) \cdot t. \quad (6)$$

Из выражения (6) имеем

$$C_R = \frac{C_{R_0}}{\exp[k_0(t) \cdot t]}. \quad (7)$$

С учетом (7) целевой функционал оптимизации F_1 определим как

$$F_1 = \int_0^{t_m} \frac{C_{R_0}}{\exp[k_0(t) \cdot t]} dt. \quad (8)$$

Для выбора оптимальной функции $k_{opt}(t)$ введем следующее ограничительное условие

$$F_2 = \int_0^{t_m} k_0(t) dt = C; \quad C = const. \quad (9)$$

Условие (9) можно интегрировать в качестве наличия ограничений в изменении скорости процесса фотокатализа путем до-

бавления влаги или сушки исходно увлажненной загрязненной почвы.

С учетом выражений (8) и (9) можно сформировать следующий целевой функционал безусловной вариационной оптимизации

$$F_0 = F_1 + \lambda F_2, \quad (10)$$

где λ - множитель Лагранжа.

С учетом (8), (9), (10) получаем

$$F_0 = \int_0^{t_m} \frac{C_{R_0}}{\exp[k_0(t) \cdot t]} dt + \lambda \left[\int_0^{t_{\max}} k_0(t) dt - C \right]. \quad (11)$$

Дадим модельное решение оптимизационной задачи (11).

Модельное исследование

Согласно [13] решение задачи (11) должно удовлетворить условию

$$\frac{\partial \left\{ \frac{C_{R_0}}{\exp[k_0(t) \cdot t]} + \lambda \cdot k_0(t) \right\}}{\partial k_0 t} = 0. \quad (12)$$

Из (12) получаем

$$-t C_{R_0} \exp[-k_0(t) \cdot t] + \lambda = 0. \quad (13)$$

Из (13) находим

$$k(t) = \frac{1}{t} \ln \frac{t \cdot C_{R_0}}{\lambda}. \quad (14)$$

С учетом (9) и (14) имеем

$$\int_0^{t_{\max}} \frac{1}{t} \ln \frac{t \cdot C_{R_0}}{\lambda} dt = C. \quad (15)$$

Из (15) находим

$$\lambda = \exp \left[\frac{\int_0^{t_{\max}} \frac{\ln(t \cdot C_{R_0})}{t} dt - C}{\int_0^{t_{\max}} \frac{dt}{t}} \right] = \lambda_0. \quad (16)$$

Таким образом, решение (14) имеет вид

$$k(t) = \frac{1}{t} \ln \frac{(t \cdot C_{R_0})}{\lambda_0}. \quad (17)$$

Вместе с тем, дальнейший анализ показывает, что при решении (17) функционал (11) достигает минимума. С учетом рассмотрения случая малых величин C_{R_0} здесь применим метод линеаризационной оптимизации [13], согласно которому, если интегрант в первой части функционала (11) может быть линеаризован, то функционал F_0 достигнет максимума при решении, инверсном в отношении ранее полученного решения (17).

Следовательно, общим решением рассматриваемой задачи можно считать следующее выражение

$$k(t)_{opt} = A - \frac{1}{t} \ln \frac{(t \cdot C_{R_0})}{\lambda_0}. \quad (18)$$

Выводы

Поставлена и решена задача оптимизации очищения почвы, в малой степени загрязненной полициклическими ароматическими углеводородами типа фенантрен. Предполагается, что кинетика процесса очищения соответствует уравнению кинетики псевдопервого рода модели Ленгмюра - Хинкельвуда.

На основе известных экспериментальных исследований заключено, что скорость процесса фотокатализа может быть изменена путем вариации содержания влаги в почве. На этой основе, используя известное уравнение кинетики, составлена задача безусловной вариационной оптимизации по вычисле-

нию оптимального вида временной зависимости скорости фотокатализа, обеспечивающего экстремальное количество очищенной почвы. Однако установлено, что полученное решение обеспечивает минимум целевого функционала.

Для получения решения на максимум рассмотрена возможность применения известного метода линеаризационной оптимизации. На этой основе получено общее решение сформулированной оптимизационной задачи.

Список источников

1. Bahnemann D.W., Bockelmann D., Goslich R., Hilgendorff K., Wichgrebe D. Photocatalytic Detoxification: Novel Catalytic, Mechanisms and Solar Applications // Photocatalytic Purification and treatment of Water and Air: In Book / Ed. by D.F. Ollis, H. Al-Ekabi. New York: Elsevier, 1993. P. 301-319.
2. Blake D.M. Bibliography of Work of the Photocatalytic Removal of Hazardous Compounds from Water and Air. Springfield, VA: National Technical Information Service, 1994. 80 p.
3. Bolton J.R. Solar Detoxification // *Solar Energy*. 1996. Vol. 56. P. 375-381.
4. Hamerski M., Grzechulska J., Morawski A.W. Photocatalytic Purification of Soil Contaminated with Oil Using Modified TiO₂ Powders // *Solar Energy*. 1999. Vol. 66. No. 6. P. 395-399.
5. Silva M.J., Soares S.A.R., Santos I.D.F., Pepe I.M., Teixeira L.R., Pereira L.G., Silva L.B.A., Gelino J.J. Optimization of the Photocatalytic Degradation Process of Aromatic Organic Compounds Applied to Mangrove Sediment // *Heliyon*. 2020. Vol. 6. Issue 10. Article Number E05163. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05163.
6. Agyei-Tuffour B., Gbogho S., Dodoo-Arhin D., Damoah L.N.W., Efavi J.K., Abu Yaya., Nyankson E. Photocatalytic Degradation of Fractionated Crude Oil: Potential Application in Oil Spill Remediation // *Cogent Engineering*. 2020. Vol. 7. Issue 1. Article Number 1744944. DOI: 10.1080/23311916.2020.1744944.
7. Effendi A.J., Aminati T. Enhancing Bioremediation of Crude Oil Contaminated Soil by Combining with Photocatalytic Process Using TiO₂ as Catalytic // *International Journal of GEOMATE*. 2019. Vol. 17. Issue 64. P. 100-107. DOI: 10.21660/2019.64.46068.
8. Tetteh E.K., Rathilal S., Naidoo D.B. Photocatalytic Degradation of Oily Waste and Phenol from a Local South Africa Oil Refinery Wastewater Using Response Methodology // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article Number 8850. DOI: 10.1038/s41598-020-65480-5.
9. Shivaraju H.P., Muzakkira N., Shahmoradi B. Photocatalytic Treatment of Oil and Grease Spills in Wastewater Using Coated N-Doped TiO₂ Polyscales Under Sunlight as an Alternative Driving Energy // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2016. Vol. 13. P. 2293-2302. DOI: 10.1007/s13762-016-1038-8.

References

1. Bahnemann D.W., Bockelmann D., Goslich R., Hilgendorff K., Wichgrebe D. Photocatalytic Detoxification: Novel Catalytic, Mechanisms and Solar Applications. In Book «Photocatalytic Purification and treatment of Water and Air». Ed. by D.F. Ollis, H. Al-Ekabi. New York, Elsevier, 1993. pp. 301-319.
2. Blake D.M. *Bibliography of Work of the Photocatalytic Removal of Hazardous Compounds from Water and Air*. Springfield, VA, National Technical Information Service, 1994. 80 p.
3. Bolton J.R. Solar Detoxification. *Solar Energy*, 1996, Vol. 56, pp. 375-381.
4. Hamerski M., Grzechulska J., Morawski A.W. Photocatalytic Purification of Soil Contaminated with Oil Using Modified TiO₂ Powders. *Solar Energy*, 1999, Vol. 66, No. 6, pp. 395-399.
5. Silva M.J., Soares S.A.R., Santos I.D.F., Pepe I.M., Teixeira L.R., Pereira L.G., Silva L.B.A., Gelino J.J. Optimization of the Photocatalytic Degradation Process of Aromatic Organic Compounds Applied to Mangrove Sediment. *Heliyon*, 2020, Vol. 6, Issue 10, Article Number E05163. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05163.
6. Agyei-Tuffour B., Gbogho S., Dodoo-Arhin D., Damoah L.N.W., Efavi J.K., Abu Yaya., Nyankson E. Photocatalytic Degradation of Fractionated Crude Oil: Potential Application in Oil Spill Remediation. *Cogent Engineering*, 2020, Vol. 7, Issue 1, Article Number 1744944. DOI: 10.1080/23311916.2020.1744944.
7. Effendi A.J., Aminati T. Enhancing Bioremediation of Crude Oil Contaminated Soil by Combining with Photocatalytic Process Using TiO₂ as Catalytic. *International Journal of GEOMATE*, 2019, Vol. 17, Issue 64, pp. 100-107. DOI: 10.21660/2019.64.46068.
8. Tetteh E.K., Rathilal S., Naidoo D.B. Photocatalytic Degradation of Oily Waste and Phenol from a Local South Africa Oil Refinery Wastewater Using Response Methodology. *Scientific Reports*, 2020, Vol. 10, Article Number 8850. DOI: 10.1038/s41598-020-65480-5.
9. Shivaraju H.P., Muzakkira N., Shahmoradi B. Photocatalytic Treatment of Oil and Grease Spills in Wastewater Using Coated N-Doped TiO₂ Polyscales Under Sunlight as an Alternative Driving Energy. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2016, Vol. 13, pp. 2293-2302. DOI: 10.1007/s13762-016-1038-8.

10. Asadi M., Shayegan J., Alaie E. Photocatalytic Degradation of PAHs Contaminated Soil in South Pars Economic and Energy Zone with TiO₂ Nanocatalyst // Iranian Journal of Chemical Engineering. 2007. Vol. 4. No. 1. P. 14-20.

11. Vione D., Minero C., Maurino V., Carlotti M.E., Picatonotto T., Pelizetti E. Degradation of Phenol and Benzoic Acid in the Presence of a TiO₂-Based Heterogeneous Photocatalytic // Applied Catalysis B: Environmental. 2005. Vol. 58. Issue 1-2. P. 79-88. DOI: 10.1016/j.apcatb.2004.11.018.

12. Zhao X., Quan X., Zhao H. Different Effects of Humic Substance on Photodegradation of p,p,-DDT on Soil Surfaces in the Presence of TiO₂ Under UV and Visible Light // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2004. Vol. 167. Issue 2-3. P. 177-183. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2004.05.003.

13. Асадов Х.Г., Абдуллаева С.Н., Тарвердиева У.Х. Метод линеаризационной оптимизации голономных информационно-измерительных и мехатронных систем // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2020. № 35. С. 169-183. DOI: 10.15593/2224-9397/2020.3.11.

10. Asadi M., Shayegan J., Alaie E. Photocatalytic Degradation of PAHs Contaminated Soil in South Pars Economic and Energy Zone with TiO₂ Nanocatalyst. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 2007, Vol. 4, No. 1, pp. 14-20.

11. Vione D., Minero C., Maurino V., Carlotti M.E., Picatonotto T., Pelizetti E. Degradation of Phenol and Benzoic Acid in the Presence of a TiO₂-Based Heterogeneous Photocatalytic. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2005, Vol. 58, Issue 1-2, pp. 79-88. DOI: 10.1016/j.apcatb.2004.11.018.

12. Zhao X., Quan X., Zhao H. Different Effects of Humic Substance on Photodegradation of p,p,-DDT on Soil Surfaces in the Presence of TiO₂ Under UV and Visible Light. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2004, Vol. 167, Issue 2-3, pp. 177-183. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2004.05.003.

13. Asadov Kh.G., Abdullaeva S.N., Tarverdieva U.Kh. Metod linearizatsionnoi optimizatsii golonomnykh informatsionno-izmeritel'nykh i mekhatronnykh sistem [Method of Linearizational Optimization of Holonomic Information-Measuring and Mechatronic Systems]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya - Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems*, 2020, No. 35, pp. 169-183. DOI: 10.15593/2224-9397/2020.3.11. [in Russian].

Информация об авторах

• Маммадли Рашад Шохрат оглу
Национальное аэрокосмическое агентство
Аспирант
Азербайджанская Республика, AZ1115, г. Баку,
ул. Сулейман Сани Ахундов, 9
e-mail: r_mammadli@list.ru

• Алиева Амида Джабраил кызы, канд. техн. наук,
Национальное Аэрокосмическое Агентство
Старший специалист по докторантуре
и диссертациям
Азербайджанская Республика, AZ1115, г. Баку,
ул. Сулейман Сани Ахундов, 9
e-mail: amidec.b@gmail.com

Information about the authors

• Mammadli Rashad Sh.
National Aerospace Agency
Post-Graduate Student
9, Akhundov Suleiman Sani str., Baku, AZ1115,
Republic of Azerbaijan
e-mail: r_mammadli@list.ru

• Alieva Amida Dzhabrail, Candidate of Engineering
Sciences
National Aerospace Agency
Senior Specialist on Doctoral Studies
and Dissertations
9, Akhundov Suleiman Sani str., Baku, AZ1115,
Republic of Azerbaijan
e-mail: amidec.b@gmail.com

Статья поступила в редакцию 30.06.2021; одобрена после рецензирования 01.08.2021; принята к публикации 25.08.2021.

The article was submitted 30.06.2021; approved after reviewing 01.08.2021; accepted for publication 25.08.2021.