

УДК 628.3

chuvashayeva@gmail.com

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ
СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ
С ПОМОЩЬЮ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE WASTEWATER
TREATMENT SYSTEM OF AN OIL REFINERY
USING FRACTAL ANALYSIS**

*Нафикова Э. В., кандидат географических наук,
Александров Д. В., Мартынова О. Г., кандидат технических наук,
Ахметшин Р. И., Чувашаева К. Р.,
Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа*

*Nafikova E., Alexandrov D., Martynova O.,
Akhmetshin R., Chuvashaeva K.,
Ufa State Aviation Technical University*

Статья посвящена исследованию метода сравнительной оценки эффективности очистки сточных вод для очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода с помощью фрактального анализа. Сравнительными показателями являются величины фрактальной размерности полей компасов-диаграмм кратности превышения ПДК загрязняющими веществами сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, предельно допустимая концентрация, загрязняющие вещества, наилучшие доступные технологии, кратность превышения допустимой концентрации, степень очистки, очистные сооружения, фрактальный анализ, фрактальная размерность.

The article studies the method of comparative evaluation of the efficiency of wastewater treatment for oil refinery treatment facilities using fractal analysis. Comparative indicators are the fractal dimension values of the compasses-diagrams fields of the multiplicity of exceeding the MPC by wastewater pollutants.

Keywords: wastewater, maximum allowable concentration, pollutants, best available technologies, multiplicity of exceeding the allowable concentration, degree of purification, treatment facilities, fractal analysis, fractal dimension.

При добыче и переработке нефти, а также производстве нефтехимической продукции образуются сложно компонентные сточные воды. Для достижения установленных нормативов загрязнения стоков при очистке сточных вод сложным комплексным составом требуется специальное оборудование и технологические комплексы.

В рамках больших вызовов, развития приоритетных направлений в контексте природоохранных директив Европей-

ского союза в Российской Федерации применяется комплексный подход к внедрению наилучших доступных технологий (НДТ) для экономически обоснованного контроля и предотвращения негативного воздействия на окружающую среду с применением конкретных технологий [1].

При переходе на технологическое нормирование перед многими предприятиями встает вопрос модернизации очистных сооружений.

Для выбора оптимальной технологии системы очистки сточных вод необходимо проведение комплексной и сравнительной оценки ее эффективности.

В настоящее время для контроля эффективности очистки сточных вод объектов экономики наибольшее распространение получили способы, которые отдельно оценивают эффективность очистки сточных вод единичными аппаратами общей системы. Так, А. В. Рязонов в работе [2], показал неэффективность системы очистки сравнивая каждый аппарат очистного сооружения. Некоторые исследователи [3–5] в своих работах проводили оценку эффективности очистки сточных вод по отношению разности концентрации загрязняющего вещества до и после очистки к концентрации этого вещества до очистки. В исследованиях В. В. Михайленко и А. Е. Капустин [6] в качестве показателя эффективности очистки сточных вод выбрано химическое потребление кислорода, по его изменению оценивали эффективность анаэробного сбраживания. М. А. Помыкалова и другие в [7] эффективность биологической очистки сточных вод рассчитывали как разность показателей концентраций до и после биологической.

Ряд исследователей применяют более комплексные подходы к оценке эффективности очистки всех показателей сточных вод с помощью математических моделей. В работе [8] оценивалась эффективность коагуляционной очистки сточной воды с помощью уравнений регрессии для выходных параметров, которые позже сводили в матрицу планирования. Исследователи [9] оценивали эффективность очистки методом критериальной оценки – с точки зрения достижения целей разного порядка, сравнивая единичные показатели и совокупность показателей. Единичный показатель характеризует преимущества системы по одному показателю, совокупность различных значений характеризуется комплексным показателем системы, представляя общую схему в качестве взаимосвязанных простых процессов.

Фрактальный анализ – это универсальный математический метод, позволяющий характеризовать большинство природных объектов и процессов. Единый методический подход к расчету фрактальной размерности дает возможность получить численное описание организации природных структур различного происхождения и сравнить их между собой [10, 11]. Величина фрактальной размерности позволяет единым численным значением описать изменение в качестве показателей многокомпонентных сточных вод.

Многие структуры обладают фундаментальным свойством геометрической регулярности, известной как инвариантность по отношению к масштабу, или «самоподобие». Если рассматривать эти объекты в различном масштабе, то постоянно обнаруживаются одни и те же фундаментальные элементы. Эти повторяющиеся закономерности определяют дробную, или фрактальную, размерность структуры. Фрактальная геометрия описывает природные формы так, как не удастся описать евклидовой геометрии [12].

В настоящей работе предлагается оценка эффективности очистки многокомпонентных сточных вод предприятия графоаналитическим методом по величине фрактальной размерности – показателя, интегрирующего разнородную информацию о системе очистки по всем показателями качества воды. Свертка разнородной информации о системе очистки определяется по фрактальному анализу поля компасов-диаграмм кратности превышения ПДК показателей сточных вод до и после очистки в анализируемой системе. Поля компасов-диаграмм кратности превышения ПДК загрязняющими веществами сточных вод в едином масштабе являются некой экологической сверткой существующих загрязняющих веществ (ЗВ) на предприятии. Графическое представление компасов-диаграмм кратности превышения ПДК исследуемых загрязняющих веществ представляет собой секторограмму, на ко-

торой единицей измерения является кратности превышения ПДК загрязняющих веществ. Кратностью превышения ПДК загрязняющего вещества является отношение концентрации исследуемого загрязняющего вещества к норме допустимой его концентрации.

Цель настоящего исследования является отработка методики сравнительной оценки эффективности очистки многокомпонентных промышленных сточных вод в очистных сооружениях нефтеперерабатывающего предприятия с применением фрактальной геометрии.

В качестве объекта исследования для апробации предлагаемой оценки эффективности очистки сточных вод рассматривались сточные воды нефтеперерабатывающего предприятия с многокомпонентными загрязняющими веществами.

Очистка сточных вод на данном объекте проходит следующие степени: механическая очистка, физико-химическая, электрохимическая, биологическая. Данная система очистных сооружений не способна довести концентрацию показателей

загрязняющих веществ до нормативного значения.

Исследуемое функционирующее очистное сооружение является устаревшим и требует мероприятий по его улучшению или полной замене. Предлагается введение новых очистных сооружений на нефтеперерабатывающем предприятии.

Планируемая очистка сточных вод, поступающих на очистные сооружения, обеспечивается прохождением нескольких стадий очистки, а именно: механической, биологической и тонкой через аппараты: пескочловик, аэратор, отстойник, биофильтры, угольный фильтр, песчаный фильтр.

Проведен расчет аппаратов существующей системы очистки и планируемой к введению, и определены планируемые концентрации загрязняющих веществ после их прохождения. Кратность превышения ПДК загрязняющими веществами, образующимися на предприятии сточных вод, а также, согласно расчетам, на выходе из существующих и планируемых к введению очистных сооружений, приведены в табл. 1.

Таблица
Кратность превышения ПДК загрязняющими веществами
нефтеперерабатывающего предприятия на входе в очистные сооружения
и после очистки различными системами

Показатель	Кратность превышения ПДК ЗВ после очистки существующей технологией очистки	Кратность превышения ПДК ЗВ после очистки внедряемой технологии очистки
Взвеш. в-ва, мг/л	281,36	13,24
БПК, мг/л	77,23	4,68
Аммоний-ион, мг/л	157,23	3,31
Нитриты, мг/л	51,72	36,2
Нитраты, мг/л	1,24	1,96
Фосфаты, мг/л	20,68	10,34
Хлориды, мг/л	0,73	0,72
Нефтепродукты, мг/л	331,01	24,82

По данным табл. построены поля компасов-диаграмм кратности превышения ПДК загрязняющими веществами исследуемых сточных вод (рис.).

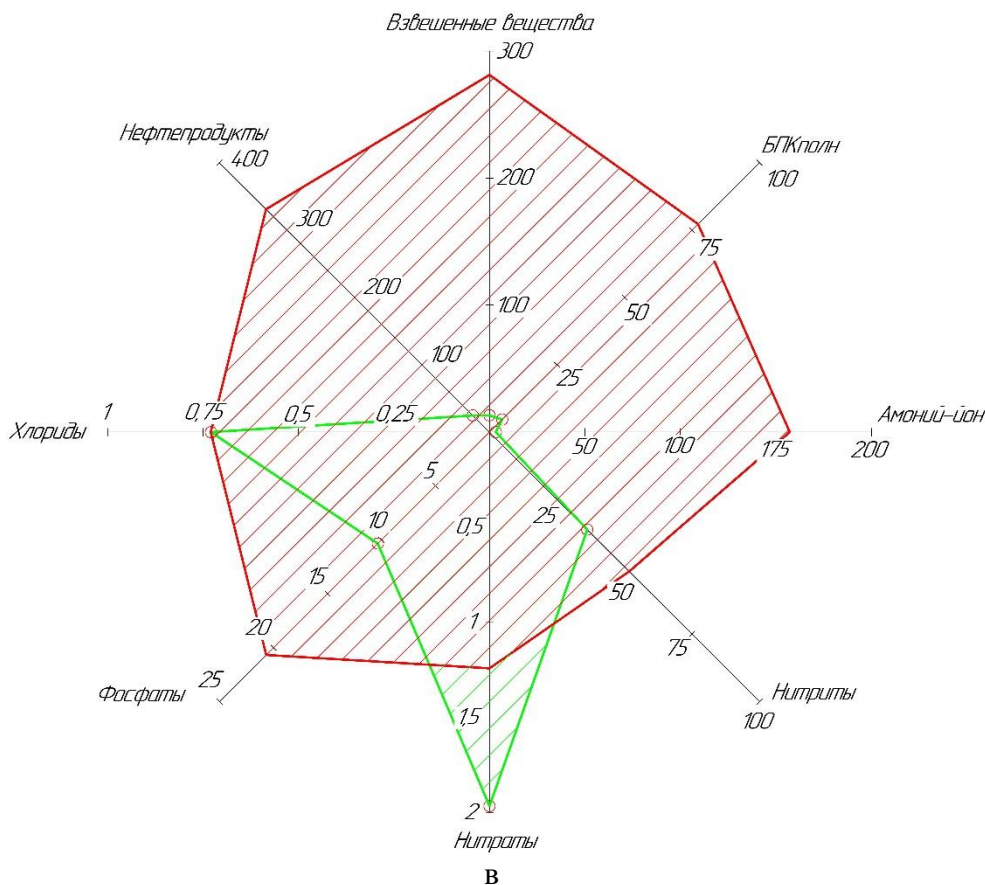


Рисунок. Диаграммы значений кратности превышения ПДК загрязняющими веществами сточных вод после очистки существующей технологией очистки (а), после очистки планируемыми к введению очистными сооружениями (б), диаграммы, наложенные друг на друга (в)

Для отработки предлагаемой методики оценки эффективности очистки сточных вод в математическом пакете MathLab с заранее прописанным программным кодом фрактального анализа методом квадратов (box counting) определились фрактальные размерности каждого поля компасов-диаграмм кратности превышения ПДК загрязняющими веществами сточных вод до введения новых очистных сооружений и после (рис.) и сравнивались между собой по наименьшему значению. По результатам расчета получены величины фрактальных размерностей полей компасов-диаграмм кратностей превышения ПДК загрязняющими веществами: со старыми очистными сооружениями – 1,87; после очистки планируемыми к введению очистными сооружениями предприятия – 1,72.

По результатам анализа общей картины очистки сточных вод по всем многокомпонентным показателям качества воды можно сделать вывод о том, что на предприятии система очистки работает в штатном режиме и эффективно очищает поступающие загрязняющие вещества. Но при введении новых очистных сооружений поля сбалансированных компасов-диаграмм кратности превышения ПДК загрязняющими веществами сточных вод изменились, что отразилось на величине фрактальной размерности. Эффективность планируемого к введению очистного сооружения лучше, чем у старого, т. к. фрактальная размерность меньше ($1,87 > 1,72$).

Проведенное исследование может помочь в сравнении, комплексном описании и проведении экологической свертки об информации о разных природных объектах. Но стоит сказать, что фракталы – не

обязательно физические формы: они могут быть пространственными или временными структурами. В общем, фрактал – это любой тип бесконечно масштабируемого и повторяющегося рисунка, демонстрирующего свойства самоподобия на ограниченном интервале пространственных масштабов. По этой причине важно иметь в виду, что теоретические фракталы являются абстракциями, но субъекты фрактального анализа, такие как цифровые изображения, ограничены разрешением, и, как правило, не являются истинными фракталами в строгом смысле этого слова. Поэтому методы расчета фрактальной размерности могут приводить к неточным результатам для естественных фрактальных объектов. В общем виде результаты расчета фрактальной размерности есть функция распределения темных пикселей (дисперсия). Величина фрактальной размерности зависит от количества ячеек, шага анализа и величины первой и последней ячейки. И поэтому невозможно проводить сравнитель-

ный анализ между фрактальными размерностями самоафинных (природных) объектов, рассчитанных в разных программах с использованием разных алгоритмов и настроек. Поэтому в работе при определении фрактальной размерности поля компасов-диаграмм кратности превышения ПДК ЗВ разных систем важно выполнить анализ в едином масштабе. Так же стоит отметить, что появляется возможность автоматизации проведения оценки эффективности системы очистки за счет быстрого анализа большого количества данных и изображений.

Исходя из этого, можно сделать вывод: с помощью фрактального метода можно комплексно оценить эффективность очистки для разных очистных сооружений одного предприятия. Данный метод будет уместен при оценке любых очистных сооружений на любом предприятии. Метод фрактальной геометрии позволяет дать оценку эффективности системы очистки, не прибегая к сложным математическим расчетам.

Литература

1. ГОСТ Р 56828.35–2018. Наилучшие доступные технологии. Водопользование. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200159342>
2. Рязанов А. В. Оценка эффективности работы очистных сооружений г. Тамбова // Вестник российских университетов. Математика. 2013. № 6 (2). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-raboty-ochistnyh-sooruzheniy-g-tambova> (дата обращения: 14.03.2022).
3. Гарзанов А. Л. и др. Наилучшие доступные технологии очистки сточных вод при убое животных и птицы на мясокомбинатах // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти В. М. Горбатова. М., 2016. № 1. С. 86–90.
4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-raboty-ochistnyh-sooruzheniy-g-tambova/viewer>
5. Чиркова В. С., Собгайда Н. А., Шайхиева К. И. Оценка эффективности очистки сточных вод от ионов хрома (VI) отходами металлообработки предприятия // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 19. С. 226–228.
6. Сулова С. В., Сироткин А. С. Оценка эффективности биологической очистки сточных вод оптико-механического производства с использованием различных схем смешения потоков // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 211–213.
7. Михайленко В. В., Капустин А. Е. Оценка эффективности очистки сточных вод методом анаэробного сбраживания. 2016. Т. 3. С. 72–76.
8. Помыкалова М. А. Оценка эффективности биологической очистки сточных вод в условиях замкнутого водооборота целлюлозно-картонного производства // Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Азиатско-тихоокеанский регион: история и современность – XI». Улан-Удэ, 2017. С. 10–15.
9. Седова Е. Л., Повжик Б. С., Воронцов К. Б. Оценка эффективности коагуляционной очистки сточной воды от промывки целлюлозы // НАУКА-RASTUDENT.RU. 2015. № 7 (19). С. 33.
10. Антонова Н. А., Домашненко Ю. Е., Васильев С. М. Определение многоцелевой эффективности системы очистки природной воды для капельного орошения методом критериальной оценки // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 260–267.

11. Насонов А. Н. и др. Фракталы в науках о Земле. Воронеж, 2018. 82 с.

12. Тунакова Ю. А. и др. Разработка методики определения самоочищающей способности рек на основе фрактальной геометрии для установления допустимого антропогенного воздействия // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 19. С. 249–253.

References

1. GOST R 56828.35–2018. Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Vodopol'zovanie. Terminy i opredeleniya. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200159342>

2. Ryazanov A. V. Ocenka effektivnosti raboty ochistnyh sooruzhenij g. Tambova // Vestnik rossijskih universitetov. Matematika. 2013. № 6 (2). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-raboty-ochistnyh-sooruzheniy-g-tambova> (data obrashcheniya: 14.03.2022).

3. Garzanov A. L. i dr. Nailuchshie dostupnye tekhnologii ochistki stochnyh vod pri uboe zhivotnyh i pticy na myasokombinatah // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya pa-myati V. M. Gorbatova. M., 2016. № 1. S. 86–90.

4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-raboty-ochistnyh-sooruzheniy-g-tambova/viewer>

5. CHirkova V. S., Sobgajda N. A., SHajhieva K. I. Ocenka effektivnosti ochistki stochnyh vod ot ionov hroma (VI) othodami metalloobrabotki predpriyatiya // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 19. S. 226–228.

6. Suslova S. V., Sirotkin A. S. Ocenka effektivnosti biologicheskoy ochistki stochnyh vod optiko-mekhanicheskogo proizvodstva s ispol'zovaniem razlichnyh skhem smesheniya potokov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 21. S. 211–213.

7. Mihajlenko V. V., Kapustin A. E. Ocenka effektivnosti ochistki stochnyh vod metodom anaerobnogo sbrazhivaniya. 2016. T. 3. S. 72–76.

8. Pomykalova M. A. Ocenka effektivnosti biologicheskoy ochistki stochnyh vod v usloviyah zamknutogo vodooborota cellyulozno-kartonogo proizvodstva // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenykh «Aziatsko-tihookeanskiy region: istoriya i sovremennost' – XI». Ulan-Ude, 2017. S. 10–15.

9. Sedova E. L., Povzhik B. S., Voroncov K. B. Ocenka effektivnosti koagulyacionnoj ochistki stochnoj vody ot promyvk cellyulozy // NAUKA-RASTUDENT.RU. 2015. № 7 (19). S. 33.

10. Antonova N. A., Domashnenko YU. E., Vasil'ev S. M. Opredelenie mnogocel'noj effektivnosti sistemy ochistki prirodnoj vody dlya kapelnogo orosheniya metodom kriterial'noj ocenki // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2017. № 1 (22). S. 260–267.

11. Nasonov A. N. i dr. Fraktaly v naukah o Zemle. Voronezh, 2018. 82 s.

12. Tunakova YU. A. i dr. Razrabotka metodiki opredeleniya samoochishchayushchej sposobnosti rek na osnove fraktal'noj geometrii dlya ustanovleniya dopustimogo antropogenного vozdejstviya // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T. 18. № 19. S. 249–253.