

База данных по процессам микробиологической очистки сточных вод и почвы как эффективный инструмент представления данных и знаний

А.А. Досаев¹✉, А.С. Скичко¹, Н.В. Меньшутина¹

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, 125047, Россия

Ссылка для цитирования

Досаев А.А., Скичко А.С., Меньшутина Н.В. База данных по процессам микробиологической очистки сточных вод и почвы как эффективный инструмент представления данных и знаний // Программные продукты и системы. 2025. Т. 38. № 1. С. 166–173. doi: 10.15827/0236-235X.149.166-173

Информация о статье

Группа специальностей ВАК: 2.3.1

Поступила в редакцию: 09.02.2024

После доработки: 13.06.2024

Принята к публикации: 19.06.2024

Аннотация. Объектом представленного исследования является системный анализ процессов микробиологической очистки сточных вод и почвы с последующей разработкой базы данных. Актуальность работы обусловлена проблемой неструктурированности больших объемов поступающей разнородной информации по данному направлению. Проведен анализ литературы с описанием существующих баз данных по микробиологической очистке и с указанием их достоинств и недостатков. Дано обоснование актуальности разработки базы данных, объединяющей все ключевые составляющие процессов микробиологической очистки сточных вод и почвы. Проведен системный анализ предметной области, с использованием системного подхода построена архитектура хранения данных. Отмечены достоинства разработанной системы, показаны примеры выполнения поисковых запросов. Разработанная база данных «Микробиологическая очистка» содержит обширную информацию о загрязняющих веществах и микроорганизмах с описанием процессов микробиологической очистки. Предлагаемая система хранения данных может быть полезна исследователям, областью научных интересов которых являются процессы микробиологической очистки, микробиология, химия и химическая технология. Она позволит уменьшить время на поиск информации при выполнении научно-исследовательских работ.

Ключевые слова: системный анализ, системный подход, реляционная модель хранения данных, архитектура базы данных, база данных, биотехнология, окружающая среда, микробиологическая очистка

Введение. Проблема загрязнения водных ресурсов и почвенного слоя планеты становится все острее из-за увеличения количества природных зон, загрязненных производственными отходами, потенциально опасными для человека и животного мира [1]. Для решения данной проблемы на смену традиционным (механическим, химическим и физико-химическим) методам очистки приходят более экономически выгодные и экологически безопасные микробиологические, которые являются актуальным направлением в биотехнологии. За последние десятилетия они все чаще находят применение на производственных объектах от лабораторных до промышленных масштабов. Объем исследований и публикуемых научных трудов по поиску, выделению и использованию различных микроорганизмов в процессах микробиологической очистки растет с каждым годом, в результате возникают проблемы из-за неструктурированности и несистематизированности поступающей информации. Вследствие этого возникают сложности как при поиске необходимой имеющейся информации, так и при обработке больших объемов новых данных [2].

Цель данного исследования – разработка БД по методам микробиологической очистки сточных вод и почвы, включающая решение следующих задач: анализ литературных источников по существующим системам хранения данных по процессам очистки с выявлением имеющихся достоинств и недостатков, системный анализ предметной области для построения архитектуры БД, ее дальнейшая программная реализация и заполнение, а также создание алгоритмов поиска в БД для наиболее полного и точного предоставления информации под конкретную задачу. Отличительной особенностью построенной архитектуры хранения данных является включение в нее объекта-связки – главной таблицы «Система очистки». Таблица содержит основную информацию о процессах микробиологической очистки по всем связанным ключевым объектам БД. Помимо основной информации, в нее внесены параметры оптимальных условий процесса и критерий эффективности – достигаемый процент очистки, что сводит к минимуму временные затраты при подготовке к проведению процесса и способствует выбору наиболее оптимальной системы микробиологического очищения. Дополни-

ным достоинством является возможность получения отдельной информации по химическим соединениям и микроорганизмам с соответствующими ферментами и средами культивирования. Данные доступны с помощью форм «Справочник по химическим веществам» и «Справочник по микробиологии» соответственно. Для удобства обновления данных и выполнения поиска информации главное меню БД содержит разделы «Администратор» и «Пользователь».

Современные системы хранения данных предметной области

Анализ литературных источников показал, что для решения проблемы неструктурированности информации разработано немало БД.

Так, интегрированная онлайн-БД KEGG служит полезным поисковым инструментом, предоставляя информацию из 16 БД о метаболических путях, соединениях, генах и белках. Как ее недостаток отмечена сложность обработки данных вследствие большого объема информации из различных источников [3]. Одной из крупнейших онлайн-БД метаболических путей и ферментов, доступных в настоящее время, является БД MetaCyc [4]. Однако установлено, что эта база содержит множество некорректных данных [5]. Узкоспециализированные базы EAWAG-BBD [6], OxDBase [7], PMBD [8], «Активный ил» [9], Bionemo [10] могут быть использованы лишь в качестве дополнительного источника информации при разработке и изучении методов микробиологической очистки. При анализе российских публикаций выяснилось, что за последние 15 лет не вышло ни одной научной статьи, посвященной разработке и использованию БД по микробиологической очистке.

В результате установлен ряд недостатков современных систем хранения данных по микробиологической очистке: содержание больших объемов разрозненных данных, сложный интерфейс, узкая специализация, отсутствие обновления информации. Таким образом, подтверждена актуальность разработки БД, охватывающей все ключевые составляющие процесса микробиологического очищения как единой системы очистки. Установлена необходимость включения в архитектуру БД показателя эффективности процесса, который будет способствовать выбору наиболее оптимальной системы очистки [11].

Системный анализ объекта исследования

На первом этапе разработки БД был выполнен системный анализ предметной области – выделены ее основные сущности (объекты) и установлены связи между ними для правильного взаимодействия (построения архитектуры хранения данных) [12]. Как известно, существует несколько подходов применения системного анализа – дедуктивный, индуктивный и системный [13, 14]. Установлено, что наиболее эффективен системный подход, который подразумевает рассмотрение предметной области как целостной системы – совокупности объектов предметной области и связей между ними [15]. В отличие от дедуктивного и индуктивного этот подход подразумевает выделение сущностей непосредственно из предметной области таким образом, чтобы они наиболее точно фиксировали ее динамику и структуру (целостные свойства) [16].

С использованием системного подхода сформировано описание предметной области – выделены семь ключевых сущностей («Загрязнители», «Микроорганизмы», «Продукты», «Система очистки», «Оборудование», «Процесс очистки», «Среда для осуществления процесса очистки») и четыре второстепенные («Среда для культивирования микроорганизмов», «Масштаб оборудования», «Ферменты», «Литературный источник»), наиболее полно и целостно отражающие область микробиологической очистки.

Описание структуры БД

Помимо выделения сущностей процесса микробиологической очистки, были установлены уникальные элементы – атрибуты, наиболее целостно характеризующие каждую сущность и способствующие наиболее быстрому пониманию процесса очистки как единой функционирующей системы [12]. Также были определены связи между всеми элементами – построена архитектура БД (рис. 1).

Схема представляет собой реляционную модель данных с мощным теоретическим фундаментом, в основе которого лежит теория математических отношений. Модель предполагает строгую классификацию данных и создание двумерных таблиц. Как известно, связи, установленные между этими таблицами, увеличивают эффективность обработки данных и уменьшают их повторяемость [17].



Рис. 1. Архитектура БД

Fig. 1. Database architecture

Особенностью построенной архитектуры хранения данных является объект-связка – главная связующая таблица «Система очистки», в которой структурирована информация всех ключевых таблиц. Помимо информации по основным объектам процесса очистки, в ней собраны данные по оптимальным условиям процесса, указаны критерий эффективности, а также достоинства и недостатки процесса.

В совокупности данная информация представлена в виде системы очистки с наиболее полным описанием каждого процесса и всех его составляющих. Включение в главную таблицу данных по оптимальным условиям процесса очистки (концентрация загрязнителя, температурный диапазон, кислотность среды (рН), аэрация, временной диапазон, перемешивание) способствует уменьшению временных

затрат при подборе условий процесса. Показатель эффективности – атрибут «Достижимый процент очистки» – позволяет достаточно быстро подобрать наиболее выгодную и оптимальную систему очистки как для отдельного загрязнителя, так и для их смеси. Стоит отметить, что благодаря введению главной связующей таблицы «Система очистки» (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2025-1/18.jpg>) стало возможным использование таблиц «Загрязнители» и «Микроорганизмы» в качестве двух независимых объектов – отдельных справочных форм по химическим веществам и микробиологии соответственно, что делает данную базу уникальной для широкого использования.

В таблице «Загрязнители» отражены основные характеристики химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Они позволяют быстро получить информацию о структуре, растворимости в воде и токсичности (полулетальная доза LD₅₀, мг/кг) веществ, оценить степень воздействия на организм человека и выделить органы-мишени, которые больше всего подвергаются негативному влиянию. Атрибут «Область загрязнения» позволяет судить о наличии того или иного загрязнителя (в виде отходов) в сточных водах и почве конкретного производственного объекта, что значительно облегчит выбор главной составляющей каждого процесса очистки – микроорганизмов под конкретное производство.

Таблица «Микроорганизмы» включает основные характеристики микробиологических агентов, осуществляющих процессы очистки: морфология, тип дыхания, подвижность, окраска по Граму, а также патогенность для человека. Приводится описание как чистых культур микроорганизмов, так и консорциумов – сложных структур из кластеров бактерий разных родов и видов. Стоит отметить, что при заполнении текущего раздела БД учитывалась информация не только о выделенных из природной среды микроорганизмах, но и об усовершенствованных, генетически модифицированных, что актуально и для ученых, занимающихся микробиологической очисткой, и для ученых-микробиологов.

В разделе БД «Продукты» приведена краткая характеристика метаболитов, в которые преобразуются загрязняющие вещества. Атрибут «Токсичность» способствует выбору наиболее подходящего метаболического пути процесса очистки с образованием наименее вредных для здоровья человека продуктов. Параметр «Возможная область применения» позволяет

оценить возможность дальнейшего использования образующихся химических веществ в той или иной области деятельности человека. Информация, содержащаяся в данном атрибуте, актуальна на предприятиях, где используются методы микробиологической очистки (например, для получения компонентов производства с использованием продуктов очистки, образующихся из стоков непосредственно на месте).

Таблица «Оборудование» содержит краткое описание оборудования, используемого в процессах очистки: название оборудования, его тип, рабочий объем (например, биореактор Biostat В, биореактор с механическим перемешиванием, 5 литров). Исходя из значения рабочего объема, по связанной таблице «Масштаб оборудования» определяется его масштаб (например, рабочий объем – 5 литров, масштаб оборудования – лабораторный). В таблице «Процесс очистки» представлены основные типы процессов микробиологической очистки (например, биодеградация, биосорбция).

Раздел «Ферменты» включает описания белковых соединений, влияющих на путь и скорость протекания метаболических превращений в живых микроорганизмах, в процессах очистки на основе их различной классификации: «По типу катализируемой реакции» (гидролазы, изомеразы, оксидоредуктазы, трансферазы, лиазы, лигазы), «По реакции на условия среды» (конститутивные, индуцибельные и репрессибельные ферменты), «По связи с клеткой» (экзоферменты и эндоферменты), что облегчает как изучение протекания того или иного процесса очистки, так и разработку новых путей протекания процессов с получением конкретных продуктов.

Таблицы «Среда для культивирования микроорганизмов» и «Среда для осуществления процесса очистки» содержат информацию о средах для культивирования (состав среды, назначение, консистенция, внешний вид сухой и готовой среды) и описание сред, в которых протекают процессы очистки (с указанием типа среды, региона и объекта, откуда были взяты пробы, характеристикой по содержанию примесей, агрессивности среды и температуре кипения) соответственно. В таблице «Литературный источник» дана полная информация о научных публикациях, описывающих системы микробиологической очистки (название научной публикации, авторы, год, страна, научное издание, идентификатор литературного источника, ссылка для цитирования).

Визуализация разработанной БД

Разработана БД в программе Microsoft Office Access на языке программирования SQL. Окно главного меню подразделяется на вкладки для пользовательской и административной работы. Визуализация главного меню БД и вкладок «Администратор», «Пользователь» представлена на рисунке 2.

Административная часть содержит вкладки «Таблицы ключевых элементов процесса очистки» и «Таблицы второстепенных элементов процесса очистки» для перехода непосредственно к таблицам с данными для редактирования и обновления информации. Пользовательская часть включает следующий набор вкладок: форму «Система очистки» (визуализация информации по всем ключевым объектам системы очистки в окне формы), вкладку «Поисковые запросы» (при нажатии на нее осуществляется переход в раздел для поиска), вкладки с формами «Справочник по химическим веществам» и «Справочник по микробиологии» (предоставляют пользователю возможность получения отдельной информации по химическим веществам, микроорганизмам, ферментам и средам культивирования).

Форма «Система очистки» содержит данные, аналогичные главной связующей таблице. Информация по каждой системе очистки сгруппирована и представлена в отдельном окне. В качестве достоинства стоит отметить, что, помимо информации по всем ключевым объек-

там, окно формы содержит также графическую схему с отображением всех стадий каждого процесса микробиологической очистки. Благодаря схеме пользователи БД могут получить визуальную информацию о том, на какой стадии получается определенный промежуточный продукт или вносится дополнительный субстрат, что актуально для проведения процесса с целью получения конкретного продукта.

Для удобства работы в БД меню «Пользователь» содержит раздел «Поисковые запросы», в котором можно осуществлять простые поисковые запросы с помощью кнопок «Поиск по названию загрязнителя», «Поиск по названию микроорганизма», «Поиск по названию продукта», «Поиск по названию фермента» и др. При нажатии на каждую из кнопок поиска (шаг 1) в главном меню открываются диалоговые окна для ввода искомым параметров. После ввода параметров (шаг 2) и нажатия кнопки «ОК» (шаг 3) пользователю предоставляется краткая информация по заданному поисковому запросу (шаг 4).

Так, например, результат поиска «По литературному источнику» представлен в виде таблицы с отдельными столбцами, также реализована возможность переключения между вкладками (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2025-1/19.jpg>). Таблицы содержат полную информацию о литературном источнике (идентификатор статьи, список авторов, название статьи и научного издания, а также год публикации и страна), наименования загрязняющих веществ,

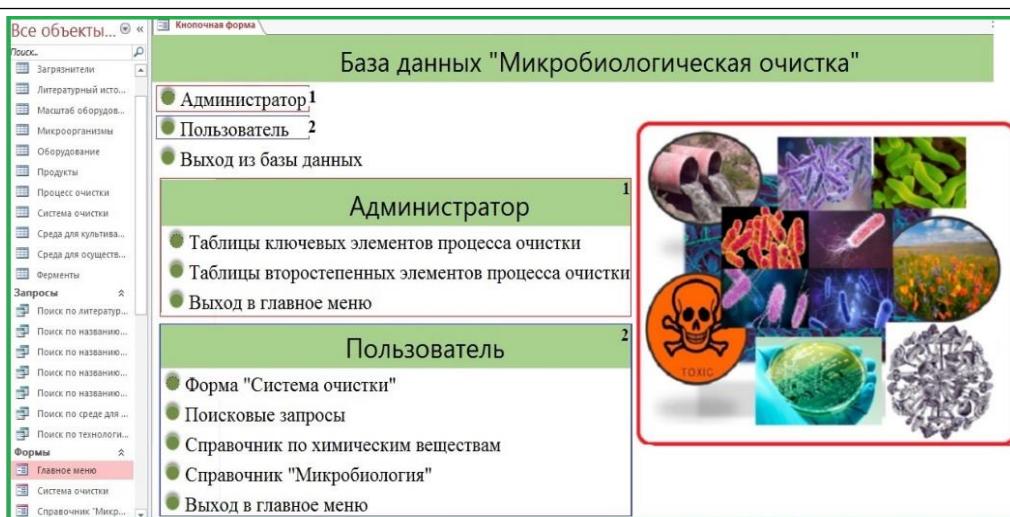


Рис. 2. Главное меню БД «Микробиологическая очистка» и вкладки для административной и пользовательской работы

Fig. 2. Main menu of the Microbiological Purification database and tabs for administrative and user work

микроорганизмов, названия процессов и процент достигаемой очистки.

При нажатии на кнопку «Поиск по названию загрязнителя» пользователь может осуществить поисковые запросы по наименованию загрязняющего вещества, химической формуле и CAS-номеру (*Chemical Abstracts Service* – уникальный численный идентификатор химических соединений), а также по областям деятельности человека, в которых искомое загрязняющее вещество выступает в качестве отходов производства (атрибут «Область загрязнения»). Помимо основной информации о системе микробиологической очистки по искомому загрязнителю, окно результатов поиска содержит информацию о его токсичности, воздействию на организм человека и растворимости в воде. Аналогично осуществляется поиск «По названию микроорганизма», в результате которого пользователь, помимо ключевой информации, получает сведения о типе дыхания, патогенности, окраске по Граму, а также о среде и регионе выделения микроорганизмов, осуществляющих процессы микробиологического очищения.

Отличительной особенностью является возможность дополнительного использования БД в качестве поискового справочника по химическим веществам (кнопка «Справочник по химическим веществам») и поискового справочника по микробиологии с характеристикой микроорганизмов, описанием ферментов и сред для культивирования (кнопка «Справочник по микробиологии»), что актуально для научных исследований различной направленности. Справочники разработаны в виде форм Microsoft Access – при нажатии на кнопки открываются соответствующие формы. Помимо информации, окна форм содержат следующие кнопки: переключение между записями, применение фильтра, печать формы, а также выход из формы. В окне формы предоставлена возможность выполнения поиска. Примерами визуализации служит поиск в формах «Справочник по химическим веществам» (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2025-1/20.jpg>) и «Справочник по микробиологии» (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2025-1/21.jpg>).

В отличие от других имеющихся систем хранения информации по микробиологической очистке удобство разработанной БД состоит в

том, что пользователю не нужно искать информацию по различным информационным источникам, она собрана и структурирована по всем объектам и параметрам процесса.

Заключение

Проведен системный анализ предметной области и разработана БД, являющаяся эффективным инструментом представления данных и знаний. С ее помощью возможен поиск информации по всем ключевым параметрам процессов микробиологической очистки как в совокупности, так и отдельно. В отличие от других систем хранения данных база содержит в своей архитектуре главную связующую таблицу «Система очистки», в которую включена информация, наиболее целостно описывающая процессы микробиологической очистки воды и почвы. Таблица содержит показатель эффективности процесса – атрибут «Достижимый процент очистки», с помощью которого для каждого загрязняющего вещества возможен выбор микроорганизмов, осуществляющих процесс очистки с наибольшей эффективностью. Пользователю предоставлена возможность оценки дальнейшего применения продуктов, образующихся в процессах очистки. Благодаря поисковому запросу «Поиск по технологическим параметрам процесса» временные затраты на подбор наиболее оптимальных условий процесса сводятся к минимуму. Формы «Справочник по химическим веществам» и «Справочник по микробиологии» предоставляют отдельную информацию по химическим соединениям и микроорганизмам (без информации по микробиологической очистке), что способствует более широкому использованию базы.

Созданная БД «Микробиологическая очистка» на текущий момент содержит информацию о 333 загрязняющих веществах и 512 микроорганизмах с описанием 537 процессов микробиологической очистки. Она не имеет современных аналогов и может быть использована как в учебном процессе в вузах химической и микробиологической направленности, способствуя выполнению выпускных и диссертационных работ, так и в научной сфере для накопления опыта существующих и создания/оптимизации новых процессов микробиологической очистки.

Список литературы

1. Кузьмин В.Р., Массель Л.В. Информационно-вычислительная система для оценки влияния объектов энергетики на окружающую среду // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36. № 1. С. 060–070. doi: 10.15827/0236-235X.141.060-070.

2. Багутдинов Р.А., Саргсян Н.А., Краснопахтыч М.А. Аналитика, инструменты и интеллектуальный анализ больших разнородных и разномасштабных данных // Экономика. Информатика. 2020. Т. 47. № 4. С. 792–802. doi: 10.18413/2687-0932-2020-47-4-792-802.
3. Kanehisa M., Furumichi M., Sato Y., Kawashima M., Ishiguro-Watanabe M. KEGG for taxonomy-based analysis of pathways and genomes. *Nucleic Acids Research*, 2023, vol. 51, no. D1, pp. D587–D592. doi: 10.1093/nar/gkac963.
4. Caspi R., Altman T., Dreher K., Fulcher C.A. et al. The MetaCyc database of metabolic pathways and enzymes and the BioCyc collection of pathway/genome databases. *Nucleic Acids Research*, 2012, vol. 40, no. D1, pp. D742–D753. doi: 10.1093/nar/gkr1014.
5. Heid E., Probst D., Green W.H., Madsen G.K.H. EnzymeMap: Curation, validation and data-driven prediction of enzymatic reactions. *Chemical Sci.*, 2023, vol. 14, no. 48, pp. 14229–14242. doi: 10.1039/D3SC02048G.
6. Gao J., Ellis L.B.M., Wackett L.P. The university of Minnesota biocatalysis/biodegradation database: Improving public access. *Nucleic Acids Research*, 2010, vol. 38, no. suppl_1, pp. D488–D491. doi: 10.1093/nar/gkp771.
7. Arora P.K., Kumar M., Chauhan A., Raghava G.P.S., Jain R.K. OxDBase: A database of oxy-genases involved in biodegradation. *BMC Research Notes*, 2009, vol. 2, art. 67. doi: 10.1186/1756-0500-2-67.
8. Gan Z., Zhang H. PMBD: A comprehensive plastics microbial biodegradation database. *Database*, 2019, vol. 2019, art. baz119. doi: 10.1093/database/baz119.
9. Маркевич Р.М., Флюрик Е.А., Гребенчикова И.А., Рымовская М.В., Дзюба И.П. Контроль процесса биологической очистки городских сточных вод с применением электронной базы данных «Активный ил» // ВВВ. 2010. № 10. С. 60–62.
10. Carbajosa G., Trigo A., Valencia A., Cases I. Bionemo: Molecular information on biodegradation metabolism. *Nucleic Acids Research*, 2009, vol. 37, no. suppl_1, pp. D598–D602. doi: 10.1093/nar/gkn864.
11. Бабынин Э.В., Дегтярева И.А. Возможности использования информационных ресурсов в биоремедиации // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. № 3. С. 372–383. doi: 10.21285/2227-2925-2021-11-3-372-383.
12. Батыргазиева Д.Р., Гусева Е.В., Меньшутина Н.В. Информационная система для подбора условий и оборудования при культивировании клеток млекопитающих // Вестн. ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 4. С. 65–70. doi: 10.20914/2310-1202-2017-4-65-70.
13. Цветков В.Я. Решение проблем с использованием системного анализа // Перспективы науки и образования. 2015. № 1. С. 50–55. URL: <https://pnojurnal.files.wordpress.com/2014/12/1501pno.pdf> (дата обращения: 02.06.2024).
14. Корнюшко В.Ф., Панов А.В., Богунова И.В., Николаева О.М., Флид А.А. Системный подход к информационной поддержке фармацевтической разработки готовых лекарственных средств // Тонкие химические технологии. 2018. Т. 13. № 2. С. 91–99. doi: 10.32362/2410-6593-2018-13-2-91-99.
15. Будылина Е.А., Гарькина И.А. Междисциплинарные исследования в конструировании сложных систем // РАиС. 2021. № 3. С. 106–113.
16. Бобков С.П., Астраханцева И.А., Галиаскаров Э.Г. Применение системного подхода при разработке математических моделей // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2021. Т. 65. № 1. С. 66–71.
17. Жалолов О.И., Хаятов Х.У. Понятие SQL и реляционной базы данных // Universum: Технические науки. 2020. № 6. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/971125> (дата обращения: 31.05.2024).

Database on microbiological wastewater and soil treatment processes: An effective tool for data and knowledge representation

Aleksandr A. Dosaev ¹✉, Aleksey S. Skichko ¹, Natalia V. Menshutina ¹

¹ Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
Moscow, 125047, Russian Federation

For citation

Dosaev, A.A., Skichko, A.S., Menshutina, N.V. (2025) 'Database on microbiological wastewater and soil treatment processes: An effective tool for data and knowledge representation', *Software & Systems*, 38(1), pp. 166–173 (in Russ.). doi: 10.15827/0236-235X.149.166-173

Article info

Received: 09.02.2024

After revision: 13.06.2024

Accepted: 19.06.2024

Abstract. The research focuses on a system analysis of the subject area, particularly the processes of wastewater and soil microbiological treatment and the database development. The paper is relevant due to the problem of unstructured large volumes of incoming heterogeneous information in this area. The authors analyzed the literature describing the existing databases on microbiological treatment and indicating their advantages and disadvantages. They justified the relevance of developing a database that integrates all key components of microbiological treatment processes of wastewater and soil. The authors conducted a systematic analysis of the subject area. Using a systematic approach, they constructed a data storage architecture. They noted the advantages of the developed system and showed examples of search query execution.

The developed the Microbiological Purification database contains extensive information on pollutants and microorganisms with descriptions of microbiological cleaning processes. The proposed data storage system is useful for researchers whose area of scientific interest is microbiological cleaning processes, microbiology, chemistry and chemical technology. It allows reducing the time for information retrieval during scientific research work.

Keywords: systematic analysis, systematic approach, relational data storage model, database architecture, database, biotechnology, environment, microbiological purification

References

1. Kuzmin, V.R., Massel, L.V. (2023) 'An IT system for assessing the impact of energy objects on environment', *Software & Systems*, 36(1), pp. 060–070 (in Russ.). doi: 10.15827/0236-235X.141.060-070.
2. Bagutdinov, R.A., Sargsan, N.A., Krasnoplakhtych, M.A. (2020) 'Analytics, tools and intellectual analysis of large different and differential data', *Economics. Information Technologies*, 47(4), pp. 792–802 (in Russ.). doi: 10.18413/2687-0932-2020-47-4-792-802.
3. Kanehisa, M., Furumichi, M., Sato, Y., Kawashima, M., Ishiguro-Watanabe, M. (2023) 'KEGG for taxonomy-based analysis of pathways and genomes', *Nucleic Acids Research*, 51(D1), pp. D587–D592. doi: 10.1093/nar/gkac963.
4. Caspi, R., Altman, T., Dreher, K., Fulcher, C.A. et al. (2012) 'The MetaCyc database of metabolic pathways and enzymes and the BioCyc collection of pathway/genome databases', *Nucleic Acids Research*, 40(D1), pp. D742–D753. doi: 10.1093/nar/gkr1014.
5. Heid, E., Probst, D., Green, W.H., Madsen, G.K.H. (2023) 'EnzymeMap: Curation, validation and data-driven prediction of enzymatic reactions', *Chemical Sci.*, 14(48), pp. 14229–14242. doi: 10.1039/D3SC02048G.
6. Gao, J., Ellis, L.B.M., Wackett, L.P. (2010) 'The university of Minnesota biocatalysis/biodegradation database: Improving public access', *Nucleic Acids Research*, 38(suppl_1), pp. D488–D491. doi: 10.1093/nar/gkp771.
7. Arora, P.K., Kumar, M., Chauhan, A., Raghava, G.P.S., Jain, R.K. (2009) 'OxDBase: A data-base of oxygenases involved in biodegradation', *BMC Research Notes*, 2, art. 67. doi: 10.1186/1756-0500-2-67.
8. Gan, Z., Zhang, H. (2019) 'PMBD: A comprehensive plastics microbial biodegradation data-base', *Database*, 2019, art. baz119. doi: 10.1093/database/baz119.
9. Markevich, R.M., Flyurik, E.A., Grebenchikova, I.A., Rymovskaya, M.V., Dzyuba, I.P. (2010) 'Control of biological treatment process of municipal wastewater using electronic database "Biological Sludge"', *VVV*, (10), pp. 60–62 (in Russ.).
10. Carbajosa, G., Trigo, A., Valencia, A., Cases, I. (2009) 'Bionemo: Molecular information on biodegradation metabolism', *Nucleic Acids Research*, 37(suppl_1), pp. D598–D602. doi: 10.1093/nar/gkn864.
11. Babynin, E.V., Degtyareva, I.A. (2021) 'Possibilities of using information resources in bioremediation', *Proc. of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 11(3), pp. 372–383 (in Russ.). doi: 10.21285/2227-2925-2021-11-3-372-383.
12. Batyrgazieva, D.R., Guseva, E.V., Menshutina, N.V. (2017) 'Information system for selection of conditions and equipment for the cultivation of mammalian cells', *Proc. of VSUET*, 79(4), pp. 65–70 (in Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2017-4-65-70.
13. Tsvetkov, V.Ya. (2015) 'Solving problems using a systematic analysis', *Perspectives of Sci. and Education*, (1), pp. 50–55, available at: <https://pnojurnal.files.wordpress.com/2014/12/1501pno.pdf> (accessed June 02, 2024) (in Russ.).
14. Korniyushko, V.F., Panov, A.V., Bogunova, I.V., Nikolaeva, O.M., Flid, A.A. (2018) 'System approach to informational support of pharmaceutical development of finished medicinal products', *Fine Chemical Technologies*, 13(2), pp. 91–99 (in Russ.). doi: 10.32362/2410-6593-2018-13-2-91-99.
15. Budylna, E.A., Garkina, I.A. (2021) 'Interdisciplinary research in design of complex systems', *Regional Architecture and Engineering*, (3), pp. 106–113 (in Russ.).
16. Bobkov, S.P., Astrakhantseva, I.A., Galiaskarov, E.G. (2021) 'Application of a system approach in developing mathematical models', *Modern High Technologies. Regional Application*, 65(1), pp. 66–71 (in Russ.).
17. Jalolov, O.I., Khayatov, Kh.U. (2020) 'Concept of SQL and relational database', *Universum: Tech. Sci.*, (6), available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/971125> (accessed May 31, 2024) (in Russ.).

Авторы

Досаев Александр Алексеевич¹,
аспирант, a.dosaev93.muctr@mail.ru

Скичко Алексей Сергеевич¹, к.т.н.,
доцент, ведущий программист,
skichko.a.s@muctr.ru

Меньшутина Наталья Васильевна¹,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,
menshutina.n.v@muctr.ru

Authors

Aleksandr A. Dosaev¹, Postgraduate Student,
a.dosaev93.muctr@mail.ru

Aleksey S. Skichko¹, Cand. of Sci. (Engineering),
Associate Professor, Leading Programmer,
skichko.a.s@muctr.ru

Natalia V. Menshutina¹ Dr.Sci. (Engineering),
Professor, Head of Chair,
menshutina.n.v@muctr.ru

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, 125047, Россия

¹ Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, 125047, Russian Federation