

БАЗА ДАННЫХ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ – ПЕРВЫЙ ЭТАП РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Досаев А.А., Сафаров Р.Р., Меньшутина Н.В.

Досаев Александр Алексеевич (ORCID: 0000-0001-9208-0711), Сафаров Руслан Рафигович (ORCID: 0000-0002-0342-0049), Меньшутина Наталья Васильевна (ORCID: 0000-0001-7806-1426)

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,

г. Москва, Россия. 125047, Московская область, г. Москва, Миусская площадь, 9.

E-mail: a.dosaev93.muctr@mail.ru, safarov.r.r@muctr.ru, menshutina.n.v@muctr.ru

В статье представлено описание первого этапа создания системы поддержки принятия решений по выбору типа и модели биореактора - базы данных биотехнологических процессов с использованием биореакторов. Для обоснования актуальности разработки проведен анализ существующих баз данных биотехнологических процессов. Вследствие отсутствия сведений о программных продуктах, позволяющих осуществлять поиск информации о всех компонентах биотехнологических процессов с использованием биореакторов, разработка соответствующей базы данных представлена в качестве научной новизны. По итогам анализа с применением системного подхода сформирована модель хранения данных. Выполнена программная реализация модели, приведено ее подробное описание и примеры работы поискового интерфейса. Представленный программный продукт может быть полезен при выполнении научно-исследовательских работ в области медицины, биотехнологии и микробиологии, а также в качестве вспомогательного инструмента в образовательном процессе.

Ключевые слова: база данных, биореакторы, биотехнология, биотехнологический процесс, биотехнологическая система, информационные технологии, модель хранения данных, система поддержки принятия решений, системный анализ, системный подход

BIOTECHNOLOGICAL PROCESS DATABASE – THE FIRST STAGE OF DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM

Dosaev A.A., Safarov R.R., Menshutina N.V.

Dosaev Alexander Alekseevich (ORCID: 0000-0001-9208-0711), Safarov Ruslan Rafigovich (ORCID: 0000-0002-0342-0049), Menshutina Natalya Vasilievna (ORCID: 0000-0001-7806-1426)

Russian University of Chemical Technology DI. Mendeleev,

Moscow, Russia. 125047, Moscow region, Moscow, Miusskaya square, 9.

E-mail: a.dosaev93.muctr@mail.ru, safarov.r.r@muctr.ru, menshutina.n.v@muctr.ru

The article presents a description of the first stage of creating a decision support system for choosing the type and model of a bioreactor - a database of biotechnological processes using bioreactors. To justify the relevance of the development, an analysis of existing databases of biotechnological processes was conducted. Due to the lack of information on software products that allow searching for information on all components of biotechnological processes using bioreactors, the development of a corresponding database is presented as a scientific novelty. Based on the results of the analysis, a data storage model was formed using a systems approach. A software implementation of the model was completed, its detailed description and examples of the search interface are given. The presented software product can be useful in carrying out research work in the field of medicine, biotechnology and microbiology, as well as an auxiliary tool in the educational process.

Keywords: bioreactors, biotechnology, biotechnological process, biotechnology system, database, data storage model, decision support system, information technologies, systems analysis, systems approach

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия биотехнология является активно развивающейся областью науки, которая успешно применяется в различных сферах человеческой деятельности (медицине, микробиологии, химии) [1].

Согласно «Комплексной программе развития биотехнологий в Российской Федерации» выделяют следующие отрасли биотехнологии, представленные на рис. 1 [2].

В вышеперечисленных отраслях биореакторы являются ключевым оборудованием, с помощью которого осуществляется множество биотехнологических процессов.



Рис.1. Классификация отраслей биотехнологии согласно «Комплексной программе развития биотехнологий в Российской Федерации»
Fig.1. Classification of biotechnology industries according to the «Comprehensive program for the development of biotechnology in the Russian Federation»

В последние годы наблюдается стремительный прогресс в создании новых биореакторов с разнообразным конструктивным исполнением [3]. Вследствие данного разнообразия специалисты на производстве и в научной сфере сталкиваются с проблемой выбора наиболее подходящего типа и модели биореактора под конкретный биотехнологический процесс. Структура выбираемого аппарата должна не только обеспечивать благоприятные условия для транспортировки газов, жидкостей и твердых веществ, но и быть адаптированной к биологическому объекту, с помощью которого осуществляется биотехнологический процесс [4]. Стоит отметить, что проблему выбора типа и модели биореактора усложняет большой объем неструктурированных данных по технологическим параметрам биотехнологического процесса (скорость перемешивания, температура, pH, концентрация растворенного кислорода (DO), уровень культуральной жидкости) [5]. Для решения данной проблемы была предложена разработка системы поддержки принятия решений, позволяющей осуществить выбор биореактора из доступных типов и моделей. В качестве первого этапа разработки системы поддержки принятия решений и цели данного исследования, установлено создание базы данных по биотехнологическим процессам с использованием биореакторов.

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первым этапом разработки системы поддержки принятия решений по выбору типа и модели биореактора является создание базы данных по биотехнологическим процессам с использованием биореакторов, что является целью данного

исследования. Процесс разработки базы данных включает в себя ряд следующих задач: анализ современных баз данных по биотехнологическим процессам и биореакторам; установление достоинств и недостатков существующих программных продуктов; обзор подходов системного анализа с выбором оптимального подхода для разработки модели хранения данных; построение модели хранения данных; программная реализация и визуальное оформление модели хранения данных; разработка поискового интерфейса базы данных.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ ПО БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ И БИОРЕАКТОРАМ

Для обоснования актуальности разработки базы данных проведен анализ существующих баз данных по биотехнологическим процессам с использованием биореакторов. По итогам анализа, представлено описание следующих программных продуктов:

1. База данных для информационного обеспечения системы автоматизированного проектирования реактора получения биогаза (Российская Федерация, Тамбов, 2023 год). Программный продукт служит полезным инструментом проектирования биореактора для получения биогаза. Структура базы содержит таблицы, включающие технологические параметры процесса и константы, а также конструктивные параметры биореактора [6].

2. База данных по биореакторам и ферментации «Bio-Ferment» (Индия, Мангалор, 2011 год). Он-лайн-база данных по процессам ферментации, в которую внесена информация о микроорганизмах

и ферментерах, необходимых для осуществления процессов ферментации, а также об образующихся продуктах [7].

3. База данных по биоочистке воды от фармацевтических препаратов и средств личной гигиены (Франция, Лион, 2009 год). В базе представлено описание мембранных биореакторов, а также приведены показатели эффективности их работы [8].

4. База данных биотехнологического оборудования для выпуска сухой хмелево-тыквенной закваски (Российская Федерация, Мичуринск, Тамбов, 2015 год). Программный продукт содержит описание оборудования, используемого в процессах получения сухой хмелево-тыквенной закваски [9].

Установлено, что все рассмотренные базы данных являются узконаправленными, и большая часть из них отсутствует в открытом доступе. Стоит отметить, что при осуществлении поиска по каталогу всемирных биологических баз данных «Database Commons» не найдено ни одной базы

данных по запросу «bioreactor» [10]. Представленные доводы говорят об актуальности разработки базы данных, которая позволит осуществлять поиск информации обо всех компонентах биотехнологических процессов с применением биореакторов, что будет способствовать получению необходимых данных с минимальными временными и экономическими затратами.

Разработка такой базы данных представлена в качестве научной новизны. Проведение системного анализа предметной области с выделением из нее ключевых элементов (сущностей) и установление связей между ними – создание модели хранения данных, является первым шагом в разработке базы данных [11].

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

По итогам анализа литературных источников были установлены существующие подходы, используемые при проведении системного анализа (табл. 1).

Таблица 1

**Подходы системного анализа
Table 1. Systems analysis approaches**

Название подхода	Краткое описание подхода
Дедуктивный подход	Подход основан на фрагментарном изучении свойств объектов, систем, процессов [12].
Индуктивный подход	В основе подхода лежит обобщенное изучение объекта исследования и конструкция (синтез) системы путём слияния её элементов, разрабатываемых отдельно [12].
Системный подход	Суть подхода состоит в целостном изучении объекта исследования, последовательном переходе от общего к частному. Система является интегрированным целым, даже если она состоит из отдельных разобщённых подсистем [13].

В отличие от других подходов, в основе системного подхода лежит рассмотрение всех объектов предметной области как единой функционирующей системы [14]. При этом подход требует, чтобы все зависимости и связи между объектами были учтены [15, 16]. Исходя из вышеизложенного, подход выбран для проведения системного анализа предметной области и построения модели хранения данных.

С использованием системного подхода из предметной области были выделены 6 ключевых и 18 второстепенных сущностей. Ключевые сущности: биотехнологическая система, биотехнологический процесс, биореакторы, биообъекты, продукты, среда для осуществления биотехнологического процесса. Второстепенные сущности: конструктивное исполнение биореактора, устройство перемешивания, насос, мембрана, технические характеристики биореактора, массогабаритные

параметры биореактора, масштаб биореактора, режим работы биореактора, область применения биореактора, микроорганизмы, клеточные линии, ферменты, вирусы, гены, источники клеточных линий, несущие элементы, питательные добавки, источники литературы. Помимо определения сущностей предметной области, были выделены атрибуты - элементы, характеризующие каждую сущность [17]. Они способствуют наиболее полному пониманию каждого биотехнологического процесса как единой целостно функционирующей системы. С установлением связей между всеми элементами объекта исследования была сформирована реляционная модель базы данных. Схема модели представлена на рис. 2. Таблицы с данными строго структурированы и взаимосвязаны друг с другом. Каждая строка таблицы содержит отдельную запись, соответствующую назначенному атрибуту, а столбец представляет собой поле с установленным типом данных [18].

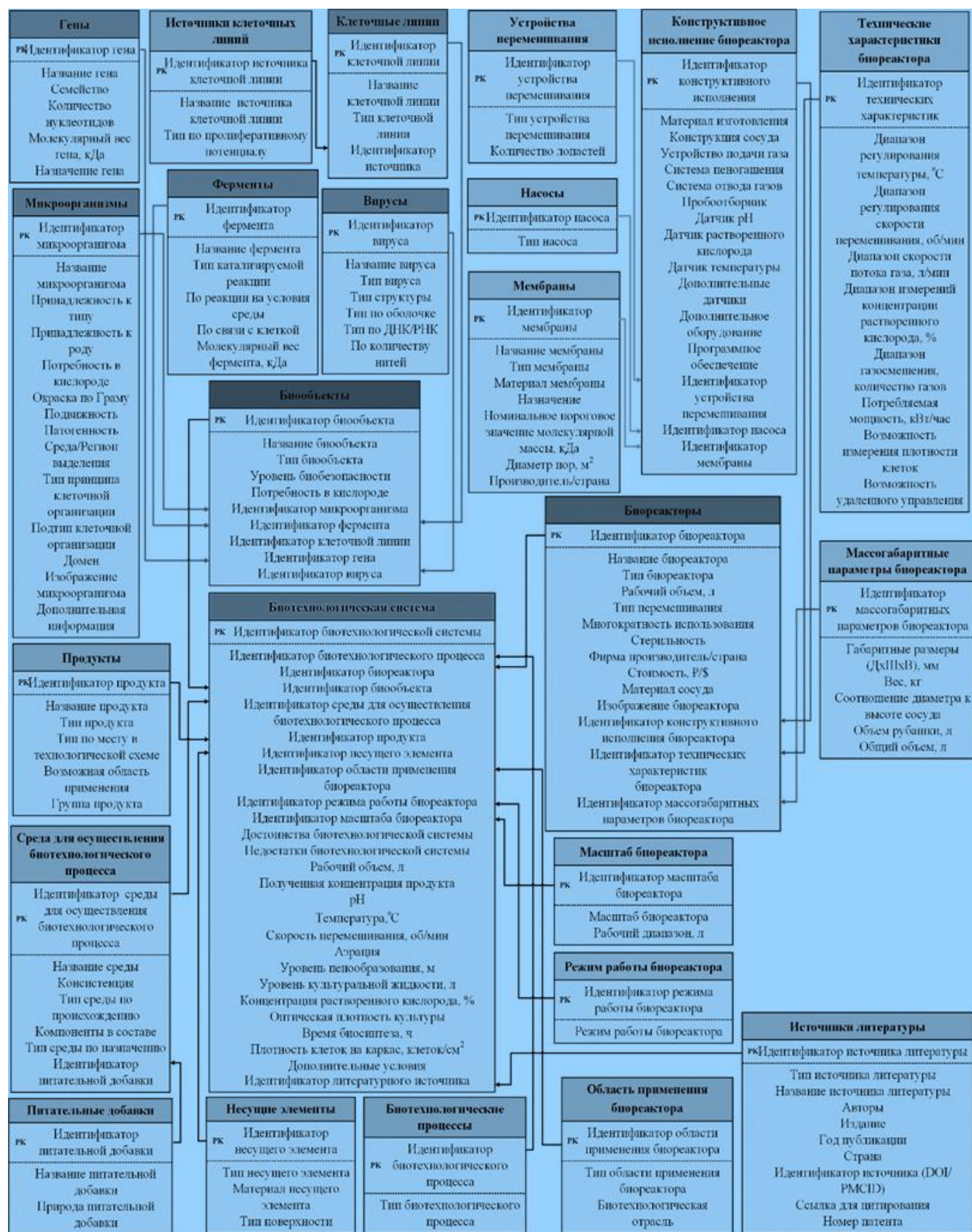


Рис.2. Инфологическая модель реляционной базы данных
Fig.2. Infological model of a relational database

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Для связывания большого числа информационных составляющих без потери данных, модель хранения данных содержит следующие связующие объекты («объекты-связки»): «Биотехнологическая система» (главный связующий объект, который включает данные со всех основных таблиц); «Биообъекты» (предоставляет информацию обо всех биологических объектах, используемых в биотехнологических процессах); «Биореакторы» (содержит описание биореакторов, их конструктивного исполнения, технических характеристик и массогабаритных параметров); «Среда для осуществления биотехнологического процесса» (включает информацию по реакционным средам и дополнительным питательным добавкам).

Главный связующий объект «Биотехнологическая система» содержит ключевые данные по каждому биотехнологическому процессу со всех связанных основных таблиц. Информация структурирована таким образом, чтобы научные исследователи могли получить необходимые данные с минимальными временными и финансовыми затратами, что особенно актуально при решении различных производственных и научных задач.

Строки объекта содержат данные о типе осуществляемого процесса и значения оптимальных условий (рН, температура, скорость перемешивания, аэрация, уровень пенообразования, уровень культуральной жидкости, концентрация растворенного кислорода, оптическая плотность культуры, время протекания процесса, плотность клеток на каркас). В них также внесено описание используемого биообъекта, несущего элемента, биореактора и реакционной среды, в которой протекает процесс. В строки объекта включена информация об образующихся продуктах, представлен идентификатор литературного источника, содержащего информацию по биотехнологическому процессу. Объект-связка «Биообъекты» содержит информацию из связанных таблиц: «Микроорганизмы», «Клеточные линии», «Гены», «Ферменты» и «Вирусы», в зависимости от того, какой биологический объект используется в биотехнологическом процессе. Каждая из таблиц содержит основные атрибуты, характеризующие биообъект (например, окраска по Граму и потребность в кислороде для микроорганизмов, количество нуклеотидов для генов, тип структуры и оболочки для вирусов). Таблица «Источники клеточных линий» связана с таблицей «Клеточные линии» и содержит краткую характеристику источников, из которых получают клеточные линии.

В связующий объект «Биореакторы» внесена информация о типе биореактора и способе перемешивания, приведено значение рабочего объема, представлены сведения о наличии стерильности и многократности использования, а также указаны страна/фирма-производитель, ориентировочная стоимость. В отдельную строку включена вкладка с изображением биореактора. Помимо основных характеристик оборудования, в нем собраны данные со связанных таблиц: «Технические характеристики биореактора», «Конструктивное исполнение биореактора», «Массогабаритные параметры биореактора».

Таблица «Технические характеристики биореактора» содержит информацию о рабочих диапазонах биореактора и возможности осуществления измерений при протекании процесса. Структура таблицы содержит атрибут «Потребляемая мощность», который будет полезен в расчете производственных мощностей при проектировании лабораторий и рабочих зон.

В таблицу «Конструктивное исполнение биореактора» внесены следующие атрибуты: материал изготовления биореактора, конструкция сосуда, наличие мембраны, перемешивающего устройства, датчиков, насосов и другого дополнительного оборудования. Она включает в себя данные, взятые из таблиц «Мембрана», «Насос» и «Устройство перемешивания», в которых, в свою очередь, представлено краткое описание соответствующих конструктивных составляющих.

Таблица «Массогабаритные параметры биореактора» содержит информацию о габаритных параметрах оборудования (габаритные размеры, вес, общий объем, соотношение диаметра к высоте сосуда). В связующем объекте «Среда для осуществления биотехнологического процесса» содержится характеристика реакционных сред. Из связанной таблицы «Питательные добавки» в него включено описание питательных добавок, вносимых в среду биореактора при осуществлении биотехнологического процесса. Таблица «Продукты» содержит описание биопродуктов, образующихся ходе биотехнологических процессов. Основными атрибутами таблицы являются: «Тип по месту в технологической схеме» (внеклеточный или внутриклеточный биопродукт) и «Группа продукта» (первичные метаболиты, необходимые для роста микроорганизмов; вторичные метаболиты - продукты, не связанные с ростом) [19].

В таблице «Биотехнологический процесс» указан тип процесса, осуществляемого в биореакторе. Таблица «Несущий элемент» содержит информацию о клеточных подложках и каркасах,

применяемых в биотехнологических процессах. В таблицы «Масштаб биореактора» и «Режим работы биореактора» внесены данные о масштабе используемого оборудования (микромасштаб, лабораторный, пилотный, промышленный) и режиме его работы (периодический, периодический с подпиткой, непрерывный) соответственно [4].

В таблицу «Область применения биореактора» включена информация о биотехнологической отрасли, в которой осуществляется процесс с использованием биореактора. Таблица «Источники литературы» содержит идентификатор научной публикации и полную информацию о ней (название, авторы, издание, страна и год публикации). Помимо полной информации об источнике лите-

ратуры, в отдельную строку таблицы включена ссылка для осуществления цитирования, а также приведен номер патента для составляющих биотехнологического процесса.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛЬНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ «БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА»

Система хранения данных разработана в СУБД «Microsoft Office Access». Главное меню содержит кнопки для навигации по разделам «Меню администратора», «Меню пользователя» и «Выход из базы данных». Визуальное оформление главного меню представлено на рис. 3.



Рис.3. Визуальное оформление главного меню базы данных «Биотехнологическая система»

Fig.3. Visual design of the main menu of the database «Biotechnological system»

Раздел «Меню администратора» служит для редактирования и внесения новых данных в таблицы базы. Для удобства работы с таблицами данных меню подразделено на следующие подразделы-вкладки: «Таблица "Биотехнологическая система"», «Таблицы блока "Биореакторы"», «Таблицы блока "Биообъекты"», «Таблицы блока "Среда для осуществления биотехнологического процесса"», «Прочие основные таблицы» и «Прочие второстепенные таблицы». При нажатии на каждую из них осуществляется переход в подраздел, содержащий соответствующие наборы таблиц базы данных.

Раздел «Меню пользователя» предназначен для непосредственной работы в базе данных и включает в себя следующие подразделы: «Биотехнологическая система» (в окне формы пред-

ставлена вся основная информация по биотехнологическому процессу); «Поисковая система» (служит для выполнения поисковых запросов); справочные подразделы «Биореакторы» и «Биообъекты» (предназначены для получения справочных данных по биореакторам и биообъектам соответственно).

Подраздел «Биотехнологическая система» содержит сводную информацию по биотехнологическому процессу, представленному в виде формы на рис. 4.

Помимо ключевой информации по всем составляющим процесса, в окне подраздела представлены его достоинства и недостатки, указана полученная концентрация продукта, что актуально при выборе оборудования и биологических объектов для биотехнологического процесса.

Подраздел «Биотехнологическая система»

Название биореактора: Биореактор KLF2000

Идентификатор литературного источника: 10.1186/s12934-015-0272-y № записи: 12

Название биообъекта: Штамм E. coli BJ01 pCTUT7-Vlm1 pKS01-Vlm2

Название продукта: Циклодипептидный антибиотик "Валниомцин"

Тип несущего элемента: Отсутствует

Достоинства биотехнологической системы

Отсутствие влияния колебательных условий (глюкозы и кислорода) на процесс

Название среды: EnPresso B + 400 г/л глюкозы

Тип области применения биореактора: Производство антибиотиков

Недостатки биотехнологической системы

Не указаны

Тип биотехнологического процесса: Ферментация

Режим работы биореактора: Периодический с подпиткой

Масштаб биореактора: Лабораторный

Полученная концентрация продукта: Титр более 2 мг/л

№ рН Т опер DO

Оптимальные условия процесса: 12 7 30 1400 > 20 %

Рис.4. Визуализация подраздела «Биотехнологическая система»

Fig.4. Visualization of the subsection «Biotechnological system»

ОПИСАНИЕ ПОИСКОВОГО ИНТЕРФЕЙСА БАЗЫ ДАННЫХ

Для удобства выполнения поиска в системе хранения данных в подраздел «Поисковая система» внесены следующие вкладки для выполнения поисковых запросов: «Поиск по биореактору», «Поиск по биообъекту», «Поиск по продукту», «Поиск по конструктивному исполнению биореактора», «Поиск по техническим характеристикам биореактора», «Поиск по среде и оптимальным условиям процесса», «Поиск по области применения биореактора», «Поиск по источнику литературы».

В качестве примера (рис. 5) представлена пошаговая визуализация осуществления поискового запроса «Поиск по биореактору».

При выборе вкладки «Поиск по биореактору» («1») происходит открытие диалоговых окон, в которых осуществляется ввод параметров поиска («2»). Затем, при нажатии кнопки «ОК», происходит осуществление поискового запроса. Открывшаяся таблица «Поиск по биореактору» содержит отсортированную информацию, включающую искомые параметры («3»). Помимо характеристик оборудования, по итогам поиска приводится информация об области его применения, а также типе биотехнологического процесса, с указанием идентификатора источника литературы.

В результате выполнения поискового запроса «Поиск по биообъекту», кроме информации об основных составляющих биотехнологической системы, пользователю предоставляется информация о биобезопасности биообъекта, что особенно актуально при подготовке к проведению биотехнологического процесса. По итогам осуществления запроса «Поиск по среде и оптимальным условиям процесса» возможно сравнение питательных сред и условий процесса, для выбора наиболее оптимальной системы. Отличительной особенностью выполнения поискового запроса «Поиск по продукту», помимо его характеристик по группе и месту в технологической схеме, является атрибут «Возможная область применения». Данный параметр, включает информацию об отраслях использования продукта биотехнологического процесса.

Вкладка «Поиск по области применения биореактора» позволяет осуществлять поиск информации по двум параметрам - «По области применения» и «По типу биотехнологического процесса». Результаты поиска включают критерий эффективности процесса - атрибут «Полученная концентрация продукта».

Данный критерий способствует выбору наиболее оптимального биореактора, биообъектов, а также параметров для наиболее эффективного осуществления процесса.

Кнопочная форма

Подраздел «Поисковая система»

Поиск по биореактору 1

Поиск по биообъекту

Поиск по продукту

Поиск по конструктивному исполнению биореактора

Поиск по техническим характеристикам биореактора

Поиск по среде и оптимальным условиям процесса

Поиск по области применения биореактора

Поиск по источнику литературы

Назад в меню пользователя

Введите значение параметра ? X

Введите название биореактора

OK Отмена

Введите значение параметра ? X

Введите тип биореактора

OK Отмена

Введите значение параметра ? X

Введите тип перемешивания биореактора

OK Отмена

Введите значение параметра ? X

Введите стерильность биореактора

OK Отмена

Введите значение параметра ? X

Введите фирму-производитель биореактора

Sartorius

OK Отмена

Введите значение параметра ? X

Введите многократность использования биореактора

OK Отмена

3

Название биореактора	Тип биореактора	Тип перемешивания	Рабочий объем (л)	Масштаб биореактора	Многократность использования
Биореактор Biostat B	С мешалкой	Механический	5	Лабораторный	Многоразовый
Биореактор SUB	С мешалкой	Механический	200	Промышленный	Одноразовый

Стерильность	Идентификатор литературного источника	Режим работы биореактора	Фирма-производитель/страна	Тип области применения
Нестерильный	10.1016/j.jbt.2019.04.005	Непрерывный	"Sartorius", Германия	Биоочистка
Стерильный	10.1021/acsomega.3c03007	Периодический с подпиткой	"Sartorius", Германия	Производство вакцин

Материал сосуда	Тип биотехнологического процесса	Стоимость
Боросиликатное стекло, нержавеющей сталь AISI 316L, EPDM	Биоразложение	1 465 108.90 Р
Не указан	Ферментация	Не указана

Рис.5. Пошаговая визуализация поискового запроса «Поиск по биореактору»

Fig.5. Step-by-step visualization of the search query «Search by bioreactor»

Вкладки «Поиск по техническим характеристикам» и «Поиск по конструктивному исполнению» являются вспомогательными при сравнении биореакторов по техническим возможностям и конструктивному оснащению, а также содержат информацию о стоимости и потребляемой мощности, что актуально при осуществлении закупок оборудования и составлении технических заданий в проектировании производств или лабораторий. Выполнение запроса «Поиск по источнику литературы» позволяет получить информацию о научной публикации (названию, авторах, научном издании, стране и годе публикации, с указанием идентификатора источника литературы). Предоставлена возможность получения информации о наличии патента по используемым составляющим биотехнологического процесса, а также приведена ссылка для цитирования литературного источника.

РАЗРАБОТКА СПРАВОЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛОВ «БИООБЪЕКТЫ» И «БИОРЕАКТОРЫ»

В качестве отличительной особенности разработанной базы данных стоит выделить справочные подразделы «Биообъекты» и «Биореакторы». Они могут быть использованы в качестве отдельных источников и поисковых инструментов для предоставления информации, что актуально

для использования инженерами-технологами и специалистами в области микробиологии и медицины, а также для практического применения в учебных учреждениях. Для удобства пользователей данные подразделы представлены в меню пользователя в виде отдельных вкладок: «Справочный подраздел биореакторы» и «Справочный подраздел биообъекты». При выборе вкладки «Справочный подраздел биореакторы» происходит открытие одноименного окна, которое содержит основную информацию по биореакторам (рис. 6). Информация напрямую связана с таблицами базы данных, а визуализация выполнена с использованием инструмента «Microsoft Access» - «Мастер форм». Данные структурированы таким образом, чтобы пользователь мог быстро и удобно получить краткую информацию по искомому биореактору. «Справочный подраздел биообъекты» состоит из следующих вкладок: «Справочная форма "Микроорганизмы"», «Справочная форма "Вирусы"», «Справочная форма "Клеточные линии"», «Справочная форма "Гены"», «Справочная форма "Ферменты"».

При нажатии на каждую из вкладок происходит открытие соответствующего окна справочной формы.

В окне собрана информация, кратко характеризующая каждый биообъект. В качестве примера (рис. 7) представлена визуализация «Справочной формы "Микроорганизмы"».

Справочные подразделы являются полезным инструментом для предоставления информации и могут быть востребованы не только биотехнологами, но и специалистами в области медицины, микробиологии и химической технологии.

Рис.6. Визуализация справочного подраздела «Биореакторы»

Fig.6. Visualization of the reference subsection «Bioreactors»

Рис.7. Визуализация справочной формы «Микроорганизмы»

Fig. 7. Visualization of the reference form «Microorganisms»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты первого этапа разработки системы поддержки принятия решений по выбору типа и модели биореактора - создания базы данных по биотехнологическим

процессам с использованием биореакторов. Обоснование актуальности и научной новизны разработки базы данных сформулировано на основе анализа современных баз данных по биотехнологическим процессам.

С помощью системного подхода проведен системный анализ предметной области, установлены ее компоненты, между которыми построены взаимосвязи - сформирована реляционная модель хранения данных. В структуру модели включена главная сводная таблица («объект-связка»), которая содержит описание ключевых составляющих биотехнологического процесса. Программная реализация созданной модели и визуальное оформление базы данных выполнены в СУБД «Microsoft Access». Отличительной особенностью разработанной базы данных является возможность осуществления поиска и предоставления информации обо всех объектах биотехнологического процесса. Отдельным достоинством является возможность

получения дополнительной информации, не связанной к биотехнологическому процессу, с помощью справочных подразделов «Биореакторы» и «Биообъекты». Данные подразделы могут быть полезны при проведении научных исследований по медицине, биотехнологии и микробиологии, а также могут быть использованы в качестве вспомогательных инструментов учебного процесса в образовательных учреждениях.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Judijanto L., Auliani R.** Bibliometric analysis of biotechnology development. *West Science Nature and Technology*. 2024. V. 2. С. 108-117. DOI:10.58812/wsnt.v2i02.992.
2. **Василов Р.Г., Трубников В.И.** О комплексной программе развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года (БИО-2020). *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова*. 2012. Т. 8. №. 3. С. 46-52.
3. **Dhagat S., Jujjavarapu S.E., Kumar N.S.S., Mahapatra C.** Advances in bioprocess engineering and bioreactor design. Berlin, Springer. 2024. 298 p. DOI:10.1007/978-981-97-1451-3.
4. **Mandenius C.F.** Bioreactors: design, operation and novel applications. Hoboken, John Wiley & Sons. 2016. 520 p. DOI:10.1002/9783527683369.
5. **Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Акулинин Е.И., Голубятников О.О., Темнов М.С.** Системный анализ и оптимизация биотехнологических производств. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. 160 с.
6. **Соловьев Д.С., Соловьева И.А., Саратов Д.А.** Информационное обеспечение системы автоматизированного проектирования реактора получения биогаза. Материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвящённой 35-летию полета орбитального корабля-ракеты многоразовой транспортной космической системы «Буря», Рязань, 12–14 апреля 2023 г., Рязань, Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет». 2023. С. 498-500.
7. **Gupta J.K.** Bio-Ferment A database on bioreactor and fermentation. www.researchgate.net/publication/235394286_Bio-A_Database_on_Bioreactor_and_Fermentation.
8. **Miege C., Choubert J.M., Ribeiro L., Eusèbe M., Coquery M.** Fate of pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment plants—conception of a database and first results. *Environmental Pollution*. 2009. Т. 157. №. 5. Р. 1721-1726. DOI:10.1016/j.envpol.2008.11.045.
9. **Иванова Е.П., Родионов Ю.В., Капустин В.П., Никитин Д.В., Данилин С.И., Митрохин М.А.** Расчет параметров и режимов работы оборудования биотехнологической системы для производства хмелево-тыквенной закваски. *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского*. 2015. №. 3. С. 270-277. DOI: 10.17277/voprosy.2015.03.pp.270-277.

REFERENCES

1. **Judijanto L., Auliani R.** Bibliometric analysis of biotechnology development. *West Science Nature and Technology*. 2024. V. 2. P. 108-117. DOI:10.58812/wsnt.v2i02.992.
2. **Vasilov R.G., Trubnikov V.I.** On the complex program of biotechnology in the Russian Federation up to 2020 («BIO-2020»), *Bulletin of biotechnology and physical-chemical biology named after. Yu.A. Ovchinnikova*, 2012. V. 8. N 3. P. 46-52.
3. **Dhagat S., Jujjavarapu S.E., Kumar N.S.S., Mahapatra C.** Advances in bioprocess engineering and bioreactor design. Berlin, Springer. 2024. 298 p. DOI:10.1007/978-981-97-1451-3.
4. **Mandenius C.F.** Bioreactors: design, operation and novel applications. Hoboken, John Wiley & Sons. 2016. 520 p. DOI:10.1002/9783527683369.
5. **Dvoreckij D.S., Dvoreckij S.I., Akulinin E.I., Golubyatnikov O.O., Temnov M.S.** System analysis and optimization of biotechnological industries, Tambov: Izdatel'skij centr «TGTU», 2019. 160 p.
6. **Solov'ev D.S., Solov'eva I.A., Saratov D.A.** Information support for a computer-aided design system for a biogas production reactor. Abstracts. report of the XXI International Scientific and Technical Conference dedicated to the 35th Anniversary of the Flight of the Orbital Rocket Plane of the Reusable Space Transport System «Buran», Ryazan, April 12-14, 2023, Ryazan, Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Polytechnic University». 2023. P. 498-500. (in Russian).
7. **Gupta J.K.** Bio-Ferment A database on bioreactor and fermentation. www.researchgate.net/publication/235394286_Bio_A_Database_on_Bioreactor_and_Fermentation.
8. **Miege C., Choubert J.M., Ribeiro L., Eusèbe M., Coquery M.** Fate of pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment plants—conception of a database and first results. *Environmental Pollution*. 2009. T. 157. N 5. P. 1721-1726. DOI:10.1016/j.envpol.2008.11.045.
9. **Ivanova E.P., Rodionov Yu.V., Kapustin V.P., Nikitin D.V., Danilin S.I., Mitrohin M.A.** Calculation of Parameters and Operation Modes of Biotechnological System Equipment for Hop-Pumpkin Starter. *Issues of modern science and practice. V.I. Vernadsky University*. 2015. N 3. P. 3-11.
10. Database Common: A catalog of worldwide biological databases. www.ngdc.cncb.ac.cn/databasecommons/search?
11. **Dosaev A.A., Menshutina N.V.** System Analysis of Biotechnological Processes. *Actual biotechnology*. 2023. N 3. P. 37. (in Russian).

10. Database Common: A catalog of worldwide biological databases. www.ngdc.cncb.ac.cn/databasecommons/search?
11. Досаев А.А., Меньшутина Н.В. Системный анализ биотехнологических процессов. *Актуальная биотехнология*. 2023. №. 3. С. 37.
12. Niaz S., Salam T., Nazir S. Statistical methods in computer science: A comparative review of inductive and deductive approaches. *VAWKUM transactions on computer sciences*. 2023. T. 11. №. 1. С. 204-216. DOI: 10.21015/vtcs.v11i1.1407.
13. Бобков С.П., Астраханцева И.А., Галиаскаров Э.Г. Применение системного подхода при разработке математических моделей. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. №. 1 (65). С. 66-71. DOI:10.6060/snt.20216501.0008.
14. Азарова А.Н., Шанин И.И. Научный обзор исследований в области системного подхода. *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2020. Т. 8. №. 3. С. 84-89.
15. Menshutina N.V., Guseva E.V., Batyrgazieva D.R., Mitrofanov I. Information system for selection of conditions and equipment for mammalian cell cultivation. *Data*. 2021. T. 6. №. 3. С. 23. DOI: 10.3390/data6030023.
16. Блиничев В.Н., Лабути А.Н., Зуева Г.А., Колобов М.Ю., Алексеев Е.А., Волкова Г.В., Воробьев С.В., Козлов А.М., Кокурина Г.Н., Лысова М.А., Миронов Е.В., Натарева С.В., Невиницын В.Ю., Пономарева Ю.Н., Постникова И.В., Сахаров С.Е., Чагин О.В. Проблемы разработки энерго- и ресурсосберегающих процессов, реакторных систем и оборудования интенсивного действия, моделирования и оптимального управления. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 185-202. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6845j
17. Ali A., Naeem S., Anam S., Ahmed M.M. A state of art survey for big data processing and NoSQL database architecture. *International Journal of Computing and Digital Systems*. 2023. T. 14. №. 1. С. 297-309. DOI:10.12785/ijcds/140124.
18. Благовещенский В.Г., Краснов А.Е., Благовещенский И.Г., Мокрушин С.А., Тихонов А.В. Создание базы данных для разработки облачной платформы хранения и редактирования 3D моделей конфет. Сборник докладов всероссийской научно-практической конференции «Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах», Москва, 29 марта 2023 г., Москва, Университетская книга. 2023. С. 85-96.
19. Srivastava S.A. Review on biosynthetic pathways in plants. *International Journal of Research Publication and Reviews*. 2024. T. 5. №. 2. С. 668-673. DOI:10.55248/gengpi. 5.0224.0422.
12. Niaz S., Salam T., Nazir S. Statistical methods in computer science: A comparative review of inductive and deductive approaches. *VAWKUM transactions on computer sciences*. 2023. T. 11. N 1. P. 204-216. DOI: 10.21015/vtcs.v11i1.1407.
13. Bobkov S.P., Astrahanceva I.A., Galiaskarov E.G. Application of a System Approach in Developing Mathematical Models. *Modern high technology. Regional application*. 2021. N 1 (65). P. 66-71. (in Russian). DOI:10.6060/snt.20216501.0008.
14. Azarova A.N., Shanin I.I. Scientific Review of Research in the Field of System Approach. *Current directions of scientific research of the 21st century: theory and practice*. 2020. V. 8. N 3. P. 84-89. (in Russian).
15. Menshutina N.V., Guseva E.V., Batyrgazieva D.R., Mitrofanov I. Information System for Selection of Conditions and Equipment for Mammalian Cell Cultivation. *Data*. 2021. T. 6. N 3. P. 23. DOI: 10.3390/data6030023.
16. Blinichev V.N., Labutin A.N., Zueva G.A., Kolobov M.Yu., Alekseev E.A., Volkova G.V., Vorobyov S.V., Kozlov A.M., Kokurina G.N., Lysova M.A., Mironov E.V., Natareev S.V., Nevinityn V.Yu., Ponomareva Yu.N., Postnikova I.V., Sakharov S.E., Chagin O.V. Problems of the development of energy- and resource-saving processes, reactor systems and equipment of intense action, modeling and optimal management. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 185202. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6845j
17. Ali A., Naeem S., Anam S., Ahmed M.M. A State of Art Survey for Big Data Processing and NoSQL Database Architecture. *International Journal of Computing and Digital Systems*. 2023. T. 14. N 1. P. 297-309. DOI:10.12785/ijcds/140124.
18. Blagoveshchenskij V.G., Krasnov A.E., Blagoveshchenskij I.G., Mokrushin S.A., Tihonov A.V. Creation of a Database for the Development of a Cloud Platform for Storing and Editing 3D Models of Candy. Abstracts. report of the All-Russian scientific and practical conference «Intelligent automated control systems in biotechnological processes», Moscow, March 29, 2023. Moscow, University book. 2023. P. 85-96. (in Russian).
19. Srivastava S.A. Review on Biosynthetic Pathways in Plants. *International Journal of Research Publication and Reviews*. 2024. T. 5. N 2. P. 668-673. DOI:10.55248/gengpi.5.0224.0422.

Поступила в редакцию(Received): 24.03.2025
Принята к опубликованию (Accepted): 26.04.2025