

А.Б. Шотин, Д.В. Зубов
(Московский государственный университет инженерной экологии;
e-mail: ashotin@yandex.ru, zubov@msuie.ru)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

В статье рассмотрены основные задачи, стоящие перед лабораториями и мелкими производителями при выработке нового штамма микроорганизмов для последующей культивации в промышленных масштабах. Ряд из них можно решить путем внедрения автоматизированной системы научных исследований (АСНИ). Это позволяет переложить основные задачи по протоколированию, сбору, обработке и анализу поступающей информации о процессе на распределенную систему.

Ключевые слова: автоматизация, биотехнология, автоматизированная система научных исследований.

A. Shotin, PhD D. Zubov LABORATORY INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM FOR SEMI-PERIODIC APPARATUS' CONTROL SYSTEM

In present clause some of the most often problems for biochemical laboratories and small-scale production units considered. Many of them could be possibly solved by implementation of Laboratory Information Management System (LIMS). It results significant increase of quality of process and throughput by transferring some of time-taking and labor-intensive tasks, such as process data acquisition and processing, analyzing and others to LIMS.

Key words: automation, biotechnology, Laboratory Information Management System.

В настоящее время в нашей стране широко востребованы продукты биосинтеза, производимые мелкими партиями – антибиотики, биологически активные добавки, которые можно производить в коммерческих количествах в сравнительно небольших ферментёрах стендового и лабораторных масштабов. В частности, большое распространение получили лабораторные ферментационные комплексы типа BioFlo, которые также используются для исследования процессов культивирования продуцентов различных ценных веществ. Производство ведётся в периодическом или полупериодическом режиме, и параметры процесса (температура ферментационной среды, значение показателя pH, концентрация растворённого кислорода pO_2) могут существенно зависеть от свойств партии сырья или требований конкретного заказчика.

Оперативный подбор оптимальных условий для ферментации и поиск обеспечивающих их управляющих воздействий (расход и время пода-

чи подпитки, расход воздуха на аэрацию) позволяют наработать партию продукта максимально быстро и высокого качества. Подобные задачи должен решать достаточно квалифицированный персонал, имеющий как достаточное образование, так и опыт практической работы.

Подбор структуры математических моделей, описывающих течение процесса, метод определения их параметров является плохо формализуемой задачей. С другой стороны, поскольку биотехнологические процессы довольно медленные, коллектив исследователей мог бы решать и ряд задач для аналогичных производств.

Внедрение современных информационных технологий позволяет отделить поисковую работу от собственно производства, загрузить исследовательский отдел задачами его уровня и таким образом снизить расходы на содержание квалифицированного персонала.

Современная автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) решает комплекс задач:

А) Информационные, включающие в себя централизованный сбор информации о параметрах технологического процесса и состояния оборудования, контроль отклонений основных технологических параметров, контроль состояния оборудования, контроль ТЭП, подготовку информации для передачи на более высокие уровни MES (Management Enterprise System, уровень руководства предприятия), ERP (Enterprise Resource Planning, уровень распределения ресурсов предприятия).

Б) Управляющие, включающие в себя регулирование (стабилизацию) отдельных величин, координацию участков производства, анализ и предотвращение аварийных ситуаций (комплекс задач противоаварийной защиты).

В) Вспомогательные, включающие в себя протоколирование действий обслуживающего персонала, диагностирование оборудования.

Решение этих задач целесообразно осуществлять в рамках унифицированного подхода, состоящего из решений, прошедших промышленную апробацию, и для которых не представляют сложности вопросы изготовления, поставки, наладки и гарантийного обслуживания.

Выделяется три класса элементов, подлежащих унификации:

- техника – проектные решения по выбору и применению ПТК (программно-технический комплекс);
- задача – комплекс алгоритмов и программ, реализующих функции системы;
- персонал – инструкции, регламентирующие действия персонала в условиях функционирования АСУТП.

Применение такой унификации для всех подзадач, полученных после декомпозиции общей задачи, позволяет сделать разработку АСУТП в значительной степени независимой от выбора технических и программных средств.

Решения задачи начинается с её формализации (содержательное описание установки и существующей системы управления, формулирование целей управления, декомпозиция задачи управления, математическое описание объектов).

Открытая система, построенная на базе унифицированного подхода, должна учитывать различное оборудование и интерфейсы, допускать многообразие сетей и легкость расширения. Поэтому необходимо рассматривать единую информационную систему с точки зрения возможности модернизации без существенных изменений всей системы, допустимости замены одного элемента системы элементом другого производителя, возможности интеграции и взаимодействия между собой различных АСУТП, возможности интегрирования АСУТП в существующие или создаваемые вновь системы верхнего уровня АСУП. При этом одним из основных свойств должна являться отказоустойчивость. Отказ отдельных элементов не должен приводить к отказу всей системы.

Задача построения АСУТП при унифицированном подходе разбивается на три подзадачи: организация системы сбора информации, организация системы обработки и хранения информации, организация представления информации человеку – задача человеко-машинного интерфейса НМИ (Human-Machine Interface, человеко-машинный интерфейс). Каждая из этих задач решается независимо от других.

Автоматизированные системы сбора данных и управления стали стандартом научной работы и производства. Непрерывное наблюдение за экспериментом или производственным процессом позволяет принимать своевременные решения, регулировать, видоизменять условия. С развитием коммуникаций появилась возможность удаленного анализа и управления исследуемым явлением.

Решение таких задач становится существенно проще благодаря унификации стандартов на оборудование и передачу информации, использованию модульного принципа построения и появлению технологий программирования, ориентированных на инженерных работников.

С появлением таких средств в целях модернизации научного и образовательного процесса была решена задача создания биореактора [1] с удаленным доступом для сбора, анализа экспериментальных данных и контроля, управления ферментационными процессами. Требования к такой

установке заключаются в следующем: относительная простота аппаратного оформления, надежность, наглядность программного обеспечения, привлекательность для знакомства и обучения принципам культивирования микроорганизмов в биореакторе, возможность участия в реальном эксперименте, возможность использования установки в научных и учебных целях. В качестве SCADA-системы (системы диспетчерского управления и сбора данных) нами была выбрана система LabVIEW.

Следующим важным этапом при разработке является выбор системы управления базой данных (СУБД). Выбранный программный продукт должен удовлетворять как текущим, так и будущим потребностям предприятия, при этом следует учитывать финансовые затраты на приобретение необходимого оборудования, самой системы, разработку необходимого программного обеспечения на ее основе, а также обучение персонала.

Перечень требований к СУБД, используемой при анализе той или иной информационной системы, может изменяться в зависимости от поставленных целей. Тем не менее можно выделить несколько групп критериев: особенности архитектуры и функциональные возможности СУБД, контроль работы системы; особенности разработки приложений (например в Borland Developer Studio 6.0), производительность, надежность, требования к рабочей среде и прочие.

Для реализации данного проекта была выбрана shareware версия СУБД ORACLE 10g - Express Edition. ORACLE [2] является признанным лидером на рынке СУБД и в ней сохранено большинство функций из коммерческих версий. Наличие хорошей службы поддержки, широкая распространенность, доступность литературы позволят в дальнейшем поддерживать и развивать данный проект.

С появлением версии Database 10g Express Edition (Oracle Database XE) и для разработчиков и для небольших производственных сред появилась возможность использовать программное обеспечение Oracle Database XE.

Ограничения, накладываемые на версию XE (объем области данных не превышает 4 Гб и "однопроцессорность") практически не оказывают влияния в предполагаемых масштабах применения, большое количество инструментов для программирования делают разработку приложений на основе ORACLE простым и доступным для расширения в дальнейшем.

Предложенная СУБД может обеспечить удаленный доступ к данным через Интернет или локальную сеть по протоколу TCP/IP. Разработана двухмодульная структура приложения СУБД – на машине со SCADA-системой работает клиентский модуль передачи данных от процессора к

банку данных, на машине с СУБД работает серверный модуль сбора данных со всех клиентов с полным функционалом. Данная структура позволяет физически разнести части программ, выполняющих различные логические функции, что способствует стабильности и наращиваемости системы.

В качестве основного применения и оптимизации продукта был выбран процесс лабораторной ферментации лизина на аппаратах BioFlo. Лабораторный комплекс состоит из 4-х независимых лабораторных ферментеров и объединяющей их системы Bio-Flo, позволяющей протоколировать и отображать в реальном времени все основные технологические параметры ферментации.

Поскольку на установке решалась задача подбора оптимальных параметров процесса, без наработок промышленных партий продукта, то фактически решались задачи АСНИ. С помощью этой системы можно также осуществлять регулирование параметров процесса в ручном режиме и вносить изменения в текущие настройки системы автоматического регулирования.

Предложенная АСУТП разрабатывалась для решения следующих задач:

- учёт всех текущих экспериментов;
- учёт всех начальных условий (НУ) для каждого эксперимента;
- учёт значений необходимых текущих параметров процесса;
- первичная и дополнительные обработки полученных результатов;
- обобщение и визуализация данных;
- расчет технико-экономических показателей;
- моделирование процесса ферментации и определение оптимальных параметров процесса;
- уточнение коэффициентов модели и отработка значений коэффициентов регуляторов.

АСУТП состоит из трех основных элементов – хранилище данных под управлением СУБД Oracle, Сервер Приложений и Scada-система.

Распределение функций разработанного программного продукта для решения задач показано на рис. 1.

Логическое устройство таблиц базы данных приведено на рис. 2.

- 1 уровень: Пользовательский – Клиентское приложение (КП)
 2 уровень: Серверный – Сервер Приложений (СП)
 3 уровень: Системный – Система Управления Базой Данных (СУБД)



Рис. 1. Уровни функций разработанного ПО

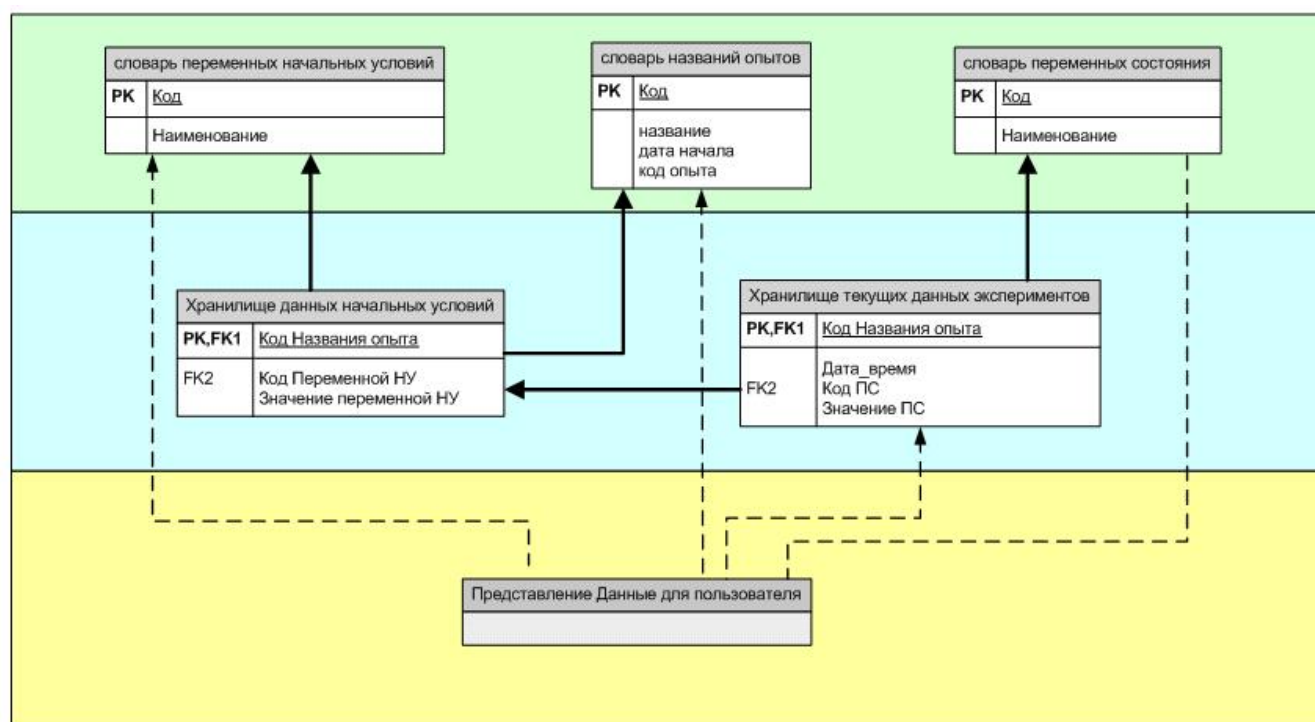


Рис. 2. Структура таблиц БД.

Перед началом процесса пользователь создает на Сервере Приложений (СП) новую запись для процесса. Новая запись содержит весь необходимый набор данных для уникальной идентификации каждого процесса. Список необходимых данных включает дату и время начала процесса, название процесса, тип процесса (ферментация и т.д.), номер ферментера для процесса, имя ответственного за процесс.

После подтверждения внесенных данных пользователь переходит к внесению начальных условий для нового процесса. В программе заранее предложены основные переменные для составления списка начальных условий. В стандартный список начальных условий входят различные концентрации, объем ферментера, Оптическая плотность посевного материала, нормативный расход на аэрацию, нормативный pH-показатель, скорость вращения мешалки, температура.

Если какого-либо параметра не окажется в этом списке, пользователь может самостоятельно расширить этот список и добавить недостающие параметры. Для этого следует нажать соответствующие кнопки и ввести необходимые значения, например, название переменной начальных условий (НУ) – "Исходная концентрация лизина" и размерность новой единицы – "г/л").

После этого следует внести все изменения в базу или отказаться от добавления, нажав соответствующие кнопки на панели. Следующим этапом подготовки к запуску процесса является настройка текущих наблюдений. Выбор параметров для текущих наблюдений осуществляется аналогично выбору параметров НУ.

Принципиальная схема движения информации в процессе работы приведена на рис. 3 и 4.

После указания интересующих переменных следует перейти к процессу периодичности опроса каждого из параметров. Период опроса устанавливается в секундах. Далее, необходимо указать на источник получения данных. По умолчанию, СП считывает текущее значение каждого из параметров из индивидуального файла, создаваемого SCADA-системой для каждой переменной. В этом файле хранится временная метка и значение параметра в данный момент времени. СП будет обращаться к этому файлу с заданной периодичностью и получать данные для каждой переменной.

Можно выбрать в качестве интервала значение "адаптивно". При этом значении СП будет самостоятельно определять период опроса каждого из параметров. Это следует делать, если производительность системы недостаточна для постоянной работы СП с большим количеством файлов. Также этот режим можно порекомендовать для уменьшения количества хранимых данных при архивации.



Рис. 3. Общая схема информационных потоков

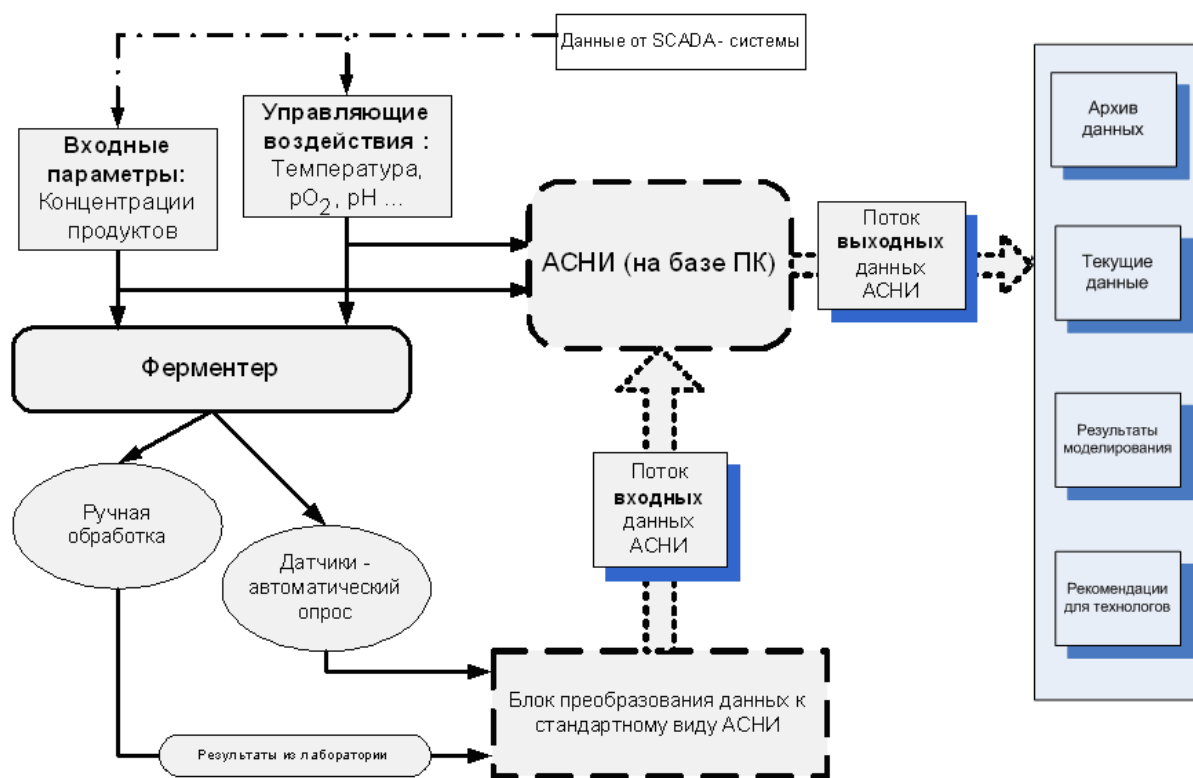


Рис. 4. Схема информационных потоков отдельного аппарата.

При выборе адаптивного режима опроса СП выберет некоторые значения опроса соответствующих переменных исходя из заданных заранее типовых значений. В дальнейшем после каждого обращения к файлу, содержащему данные, СП произведет сравнение текущего и предыдущего значений. После нескольких обращений и просчете изменений параметра СП определит характерное время изменения текущего параметра и скорректирует следующий период обращения. Таким образом, для быстро меняющихся параметров системой АСНИ будет подобран малый период обращения, а для более инерционных процессов – больший период.

Scada-система непрерывно получает данные техпроцесса, каждый показатель сопровождается временной меткой. В зависимости от настроек она формирует временные файлы для обмена данными с системой АСНИ.

В ходе процесса часто возникает необходимость провести некоторые анализы вручную. Для этого в поле выбора периода опроса переменной следует выбрать режим "ручной". При этом режиме опроса программа каждый раз будет выводить на экран окно с просьбой ввести данные ручного анализа соответствующего параметра и припишет к этим данным соответствующую временную метку.

Обработка результатов эксперимента заключается в применении методов математической статистики для оценки значений различных величин, характеризующих изучаемые объекты, и зависимости этих величин от одного либо нескольких изменяемых внешних условий (например, температура, давление, тип реагента). Обработка результатов эксперимента включает, как правило, также и определение точности данных, полученных при его проведении, часто требует ручного анализа.

К эффектам внедрения АСНИ можно отнести "универсальность" подхода к организации хранения данных. В нынешних условиях недостатка квалифицированных и опытных кадров, дороговизны обучения и прочих расходов, связанных с постоянной "текучкой" кадров, программный комплекс позволяет, во-первых, в кратчайшее время обучить нового сотрудника всем необходимым процедурам и действиям для обработки результатов эксперимента. Во-вторых, позволяет снизить зависимость хода эксперимента от конкретных сотрудников, отсутствие которых может поставить под угрозу успешное завершение экспериментов.

Разработанная оболочка для работы с данными экспериментов позволяет вести полный учёт опытов, просматривать как архивные данные, так и данные практически в реальном времени, сортировать, отбирать и выполнять построение графиков по любым наборам данных. Существует возможность на основе имеющихся данных строить модели процессов ферментации и проводить поиски оптимальных условий или прогнозирования на основе существующего банка данных, что позволит значительно сократить издержки на проведение опытов путем частичной их замены

компьютерным моделированием.

Аналогичный подход можно применять и на других производствах, особенно отличающихся нестабильностью сырья и изменчивостью требований заказчика. Применяя принцип физического разделения источника и хранилища данных, можно осуществлять удаленный мониторинг процессов. При использовании повсеместно распространенного протокола TCP/IP можно организовать подключение к нескольким удаленным лабораториям и предоставлять им услуги по мониторингу, анализу, хранению данных. Имея готовые модели некоторых процессов развития микроорганизмов, возможно также выдавать рекомендации или напрямую влиять на протекающий удаленный процесс посредством выдачи рекомендаций локальным операторам (рис. 5).

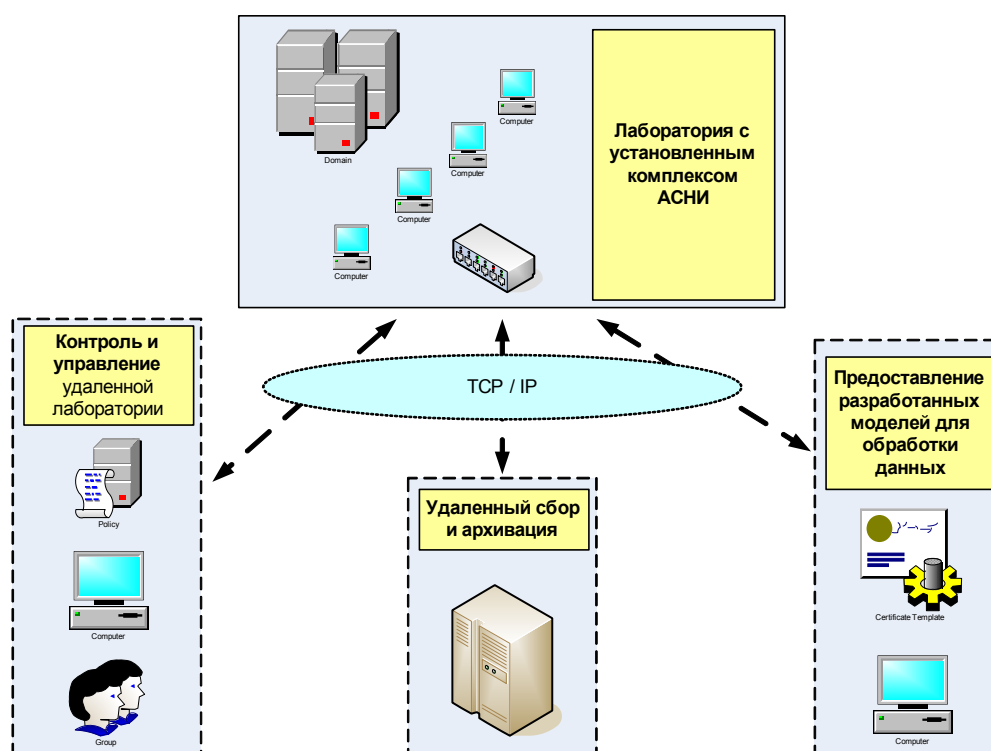


Рис. 5. Организация работ по проведению экспериментов и обработки полученных данных

Литература

1. Станишкис Ю.Ю. Оптимальное управление биотехнологическими процессами. - Вильнюс: Мокслас, 1984. - 256 с.
2. Том Кайт. Эффективное проектирование приложений Oracle. – Изд-во "Лори", 2007.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 30 августа 2009 г.