

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Т.В. Меледина, М.М. Данина

**МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ
И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Учебное пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2015

УДК 663.991.2

ББК 36+30.16

М 47

Меледина Т.В., Данина М.М. Методы планирования и обработки результатов научных исследований: Учеб. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 110 с.

Рассмотрены задачи оптимизации биотехнологических процессов путем применения математических методов планирования экспериментов – метода планирования с помощью матриц полного факторного эксперимента (метода Бокса) и метода крутого восхождения. Приведена математическая обработка экспериментальных данных с использованием компьютерных программ (Microsoft Excel).

Предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 19.04.02 Продукты питания из растительного сырья.

Рецензенты: лаборатория Санкт-Петербургского института управления и пищевых технологий (**начальник лаборатории кандидат техн. наук, доц. И.П. Прохорчик**); научный редактор ООО «Индустрия напитков» кандидат техн. наук **Н.А. Петрова**

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом Института холода и биотехнологий



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015

© Меледина Т.В., Данина М.М., 2015

ВВЕДЕНИЕ

Современное производство не может нормально функционировать, а тем более успешно развиваться, не опираясь на рекомендации науки, ее положения и выводы. Это в равной мере относится к технике, технологии, организации и управлению. Чем дальше развивается технический прогресс, тем больше он нуждается в научных исследованиях. Недаром крупные промышленные предприятия имеют научно-исследовательские лаборатории.

Тесная взаимосвязь науки и производства обуславливает неразделимость научной и инженерной деятельности. В условиях современного научно-технического прогресса подготовленный специалист должен знать классические и новейшие методы проведения научных исследований, уметь использовать те или иные из них в зависимости от сложности решаемой проблемы и реальных условий практической работы.

1. НАКОПЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

1.1. Научные произведения и их особенности

Каждое научное исследование по любой проблеме начинают с изучения и обобщения научно-технической информации. Рассмотрим наиболее часто используемые исследователями источники научно-технической информации.

Реферат – краткое изложение сущности какого-либо вопроса или научной проблемы; включает в себя фактические сведения: метод исследования, его результаты, количественные данные, место и время проведения работы.

Тезисы доклада обычно публикуются для предварительного ознакомления с основными положениями намеченного автором сообщения.

Журнальная статья строится, как правило, следующим образом:

- заглавие с указанием фамилии автора, названия научного или производственного учреждения, в котором была выполнена работа;
- состояние вопроса и значимость излагаемых научных фактов в теории и производственной практике;
- краткие данные о методике исследования;
- полученные результаты исследования и их анализ;
- выводы и предложения;
- ссылки на используемые и цитируемые источники.

Научный доклад и научное сообщение включают в себя: характеристику научного и практического значения темы; новые положения, выдвигаемые автором; выводы и предложения.

Монография – научное произведение, всесторонне и с наибольшей полнотой рассматривающее какую-либо проблему или тему.

Брошюра – печатное издание небольшого объема (свыше четырех, но не менее 48 страниц), издаваемое в мягкой обложке.

Автореферат – краткое изложение научного произведения, выполненного самим автором; например, автореферат диссертации.

Диссертация – научная работа, публично защищаемая для получения ученой степени кандидата или доктора наук.

Аннотация – краткая характеристика книги или статьи. В ней излагается их основное содержание и указывается, что нового несет

в себе данное произведение по сравнению с другими, родственными ему по тематике и целевому назначению.

Учебник – издание, в котором изложены научные основы и сущность процессов производства, обобщены достижения отечественной и зарубежной науки, сохранившие научную ценность до настоящего времени.

Методическое пособие – издание, в котором изложены программа курса, темы для самостоятельного изучения, вопросы для самопроверки при подготовке к коллоквиумам и защите лабораторных работ.

Научный отчет по теме – итоговый результат научно-исследовательской работы.

Книжная летопись – государственный библиографический указатель, предназначенный для текущего информирования о книжных изданиях Российской Федерации на всех языках, по всем отраслям знаний и практической деятельности для удовлетворения запросов разных категорий читателей.

Данный указатель выходит еженедельно и информирует об изданиях всех видов: официально-документальных, научных, научно-популярных, массово-политических, профессионально-производственных, учебных, справочных, информационных, религиозных, литературно-художественных изданиях для детей и юношества и т. д. Кроме того, он включает в себя издания, отпечатанные за границей по заказу издателей России; издания, подготовленные совместно отечественными и зарубежными издателями; издания международных организаций, членом которых является Россия. В указателе также содержится информация об изданиях, вышедших тиражом 100 экземпляров и более, за исключением научных.

Летопись журнальных статей – еженедельный государственный библиографический указатель; информирует читателей о журналах и сборниках, выходящих на территории Российской Федерации на русском языке.

Указатель содержит информацию о статьях, документальных материалах, произведениях художественной литературы из журналов, а также периодических, продолжающихся и непериодических сборников, выпускаемых Российской академией наук, ее отделениями, филиалами, институтами, научно-исследовательскими учреж-

дениями, высшими учебными заведениями, крупнейшими библиотеками и музеями.

Летопись газетных статей включает в себя информацию о публикациях центральных газет общего характера и отраслевых. Из республиканских газет в указатель включаются статьи, отражающие жизнь конкретной республики. В каждом номере имеются именной и географический указатели.

Летопись рецензий информирует читателей о рецензиях, критических статьях и других материалах, содержащих критический анализ произведений печати, вышедших в Российской Федерации и за рубежом. Каждый номер включает в себя справочный указатель авторов; алфавитный указатель редакторов и заглавий книг, изданных в РФ и за рубежом; алфавитный указатель рецензий и список газет, рецензии из которых были включены в летопись.

Реферативные издания – источники информации, включающие в себя библиографические сведения и информацию о содержании работ. Поиск литературы можно вести с помощью таких библиографических изданий, как «Реферативный журнал» и «Экспресс-информация».

Обзорная информация включает в себя такие актуальные разделы, как экологическая экспертиза, научные и технические аспекты охраны окружающей среды.

Обрабатывая основные (базовые) источники информации, надо помнить и о «рассеянной» информации, т. е. содержащейся в разнообразных изданиях, которая также нужна и полезна по тем или иным направлениям деятельности.

1.2. Государственная система научно-технической информации

В состав государственной системы научно-технической информации (ГСНТИ) входят следующие основные центры по сбору и обработке информации.

ИНИТИ (Институт научной и технической информации Государственного комитета России по науке и технике и АН России) – выпускает информационные издания, содержащие отечественную и зарубежную научно-техническую информацию.

НТИЦ (Научно-технический информационный центр) – осуществляет сбор и распространение информации о научно-исследовательских работах (НИР) и опытно-конструкторских работах (ОКР), диссертациях в области естественных наук, техники и общественных наук.

По заявкам организаций НТИЦ высылает копии имеющихся в его фондах документов, составляет обзоры и справки по отдельным научно-техническим проблемам.

Научно-технический информационный центр выпускает ряд информационных изданий, распространяемых только по библиотекам:

- бюллетени регистрации НИР и ОКР;
- сборник рефератов НИР и ОКР;
- бюллетени «Автоматизированные системы управления»;
- бюллетени «Алгоритмы и программы».

ЦНИИПИ (Центральный научно-исследовательский институт патентной информации и технико-экономических исследований) – накапливает фонды описаний российских и зарубежных изобретений. Указанный институт выпускает бюллетень «Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки». Кроме того, ЦНИИПИ выпускает на русском языке зарубежные реферативные патентные журналы и сборники патентов некоторых стран.

НИИТИ (Научно-исследовательский институт технической информации, классификации и кодирования) – входит в систему Государственного комитета России по стандартам. Данный институт выпускает «Информационный указатель Госстандартов России», «Информационный указатель отраслевых стандартов», «Информационный указатель иностранных стандартов» и т. д.

ЦП (Центр переводов научно-технической литературы и документации) – входит в Государственный комитет России по науке и технике и АН России и выполняет заказы организаций на переводы.

Кроме перечисленных центров в системе научно-технической информации (НТИ) действуют центрально-отраслевые органы НТИ. Особый интерес для технологов пищевой промышленности представляют издания Центрального научно-исследовательского института информации и технико-экономических исследований пищевой промышленности (ЦНИИТЭИпищепром).

1.3. Работа с литературой

Из основных источников информации следует выделить библиотечные каталоги, энциклопедии, отраслевые справочники, терминологические и толковые словари, обзоры и т. д.

Каталоги – основное средство при подборе литературы. Являются указателями произведений печати, имеющихся в библиотеке. Существуют три вида каталогов: алфавитный, систематический и предметный.

Алфавитный каталог. В том случае, когда известно точное и полное библиографическое описание источника информации, следует использовать алфавитный каталог. Сведения в нем расположены в алфавитном порядке библиографического описания книг (если это книжный каталог). В одном алфавитном ряду идут фамилии авторов (если у источника их не более трех) и названия (если у источника больше трех авторов).

Кроме основного описания в алфавитном каталоге встречаются добавочные описания: второго, третьего авторов (когда их три), первого автора (когда авторов больше трех).

Систематический каталог. Приступая к работе в библиотеке, следует ознакомиться, хотя бы в общих чертах, со схемой и структурой систематического каталога данной библиотеки.

Карточки систематического каталога расставлены в соответствии со схемой классификации – по отраслям знаний. Каждый раздел отделен от другого специальным разделителем, на котором указываются индекс и название. Крупные разделы делятся на подразделы и т. д. Для облегчения пользования систематический каталог обычно снабжен алфавитно-предметным указателем – «ключом». На карточках «ключа» написаны предметы (термины) и индексы соответствующих отделов каталога. Карточки расставлены в порядке алфавита предметов (терминов). По индексу, указанному в «ключе», можно отыскать соответствующий ящик каталога, на торце которого написано, с чего он начинается и чем заканчивается.

Преимущество систематического расположения материала состоит в том, что оно позволяет предоставить информацию по данной дисциплине или ее отрасли во всей полноте. То, что в алфавитном каталоге «разбросано» по всему каталогу (в алфавите библиографических описаний), а в предметном каталоге – по всему каталогу в алфа-

вите предметов (понятий, терминов), здесь собрано в одном месте (разделе).

В настоящее время в отечественных библиотеках применяются в основном две схемы библиотечной классификации:

1) универсальная десятичная классификация (УДК). Согласно этой схеме, все отрасли знаний делятся на 10 классов, каждый класс – на 10 групп, каждая группа – на 10 подгрупп и т. д. Подгруппа обозначается тремя цифрами. Например: 664. Производство и консервирование пищевых продуктов (кроме напитков). 664.6. Хлебопечение. Хлебные, мучные и кондитерские изделия;

2) библиотечно-библиографическая классификация (ББК).

Первая классификация является международной, используется в большинстве стран мира. Шифры УДК можно увидеть в начале каждой статьи. В настоящее время используется и ББК, так как переведенные на данную классификацию библиотеки (например, Государственная публичная библиотека) не имеют материальных возможностей вернуться к универсальной десятичной классификации.

Предметный каталог. При подборе материала по узкоспециальным вопросам целесообразно использовать предметный каталог. Его карточки группируются в алфавите предметных рубрик, определяющих содержание (предмет) книг или статей (принцип энциклопедий). Например: «Технология продуктов брожения», «Спирт», «Пиво», «Хлеб» и т. п.

К основным источникам информации относятся, как уже отмечалось, энциклопедии, отраслевые справочники, терминологические и толковые словари, обзоры, например: «Краткая химическая энциклопедия»; «Техническая энциклопедия»; «Справочник по производству солода и пива»; справочники по кондитерскому, хлебопекарному и другим производствам.

Конспект позволяет при чтении выявить главное, подробно изучить рассматриваемые вопросы, помогает лучше понять и усвоить материал.

Выписки заносятся на отдельные карточки, которые заполняются с одной стороны. Главные требования при составлении выписок – точность и аккуратность. Выписка должна сопровождаться точными данными об авторе, заглавии книги, времени и месте издания, а также содержать номер страницы, откуда она взята.

Карточка – наилучшая система для накопления данных о литературе. Карточки можно легко разделять, перемещать с места на место. В картотеку всегда можно добавить новое и убрать ненужное. Эта система универсальна.

Картотечная система лежит в основе создания разных по виду и назначению каталогов.

1.4. Патентная информация и ее особенности

В настоящее время выполнение научно-исследовательских, особенно так называемых поисковых, работ включает проведение патентного поиска. Поиск проводится, как правило, не менее чем за 10 лет. В Санкт-Петербурге имеется специальная патентная библиотека, расположенная в Михайловском (инженерном) замке. В каждом научно-исследовательском институте существует патентный отдел. Большие производственные объединения имеют научно-технические отделы, в штат которых, как правило, входит патентовед – человек, получивший специальное образование, например на Государственных курсах патентования. В случае возникшей проблемы можно обратиться к данному специалисту и получить дополнительную помощь.

К патентной документации относятся опубликованные авторские заявки и патенты.

При проведении патентного поиска пользуются следующими изданиями: «Изобретения за рубежом», «Изобретения в стране и за рубежом»; «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», а также тематическими подборками патентных документов и информационных материалов (так называемой сигнальной информацией). При этом особое внимание уделяется опубликованным разработкам стран, в которых достижения интересующей специалистов области наиболее значительные. Например, известно, что пивоварение успешно развивается в Германии, Чехословакии, Голландии, Финляндии и т. д.

К патентным документам относятся патенты и авторские свидетельства, являющиеся юридическими документами на открытия или изобретения.

Открытием называют такое решение научной задачи, которое является для науки во всем мире новым, т. е. представляет собой научное достижение мирового значения.

Изобретением признается новое и обладающее существенными отличиями техническое решение задачи в любой отрасли народного хозяйства, дающее положительный эффект, т. е. которое может быть признано патентоспособным. Изобретение представляет собой творческое решение практической (утилитарной) задачи. Решение должно обладать существенной новизной. При определении новизны используют как отечественные, так и зарубежные источники, т. е. мировые данные об уровне техники по соответствующей отрасли.

Основная научно-техническая ценность патентной документации заключена в описании изобретения. Согласно патентному законодательству, описания изобретений не могут содержать неправильных сведений и должны отличаться новизной. Патентная литература как средство научно-технической информации обладает следующими достоинствами: оперативностью, достоверностью, полнотой сведений.

Существенная новизна открытия лежит в области научных знаний.

Только патентоспособное изобретение защищено *авторскими правами*.

Различие между патентом и авторским свидетельством заключается в следующем: при выдаче патента изобретатель имеет исключительное право на изобретение; без разрешения владельца патента ни одна организация не в праве использовать это изобретение в течение всего срока действия патента (15 лет). При выдаче авторского свидетельства право на использование принадлежит государству.

Фонды отечественных и зарубежных описаний систематизированы в единственной в нашей стране патентно-технической библиотеке России (ПТБ).

Без специальных справочных изданий невозможно ориентироваться в многообразии патентной информации. Обеспечением источниками патентной информации занимается Центральный научно-исследовательский институт патентной информации (ЦНИИПИ). В его хранилище скомплектован единственный в стране фонд, в котором имеется собрание оригиналов отечественных изобретений за 1814–1917 гг. и по настоящее время. Патентные фонды созданы также в других крупнейших библиотеках России, территориальных и отраслевых центрах информации, научно-технических библиотеках.

Поиск информации

Литературный поиск рекомендуется проводить по определенному плану, который в самом общем виде выглядит так:

- общая информация по проблеме (с помощью энциклопедий, справочников, учебников);
- использование найденных ссылок для дальнейшего ознакомления с проблемой;
- поиск патентов, обзоров и монографий; ознакомление с ними; использование найденных с их помощью ссылок на оригинальную литературу;
- систематический поиск с помощью указателей реферативных журналов;
- ознакомление с рефератами;
- ознакомление с оригинальными работами.

На стадии выбора направления работ большое значение имеют: результаты патентного поиска за последние 5–8 лет; подсчет числа патентов за каждый год (увеличение количества патентов – перспективное направление, уменьшение – неперспективное); проведение поисковых исследований в целях нахождения новых способов, принципов, материалов.

Поиск патентной информации сложен. В центр патентных услуг (ЦПУ) направляется заявка на изобретение с проведением патентного поиска по фондам зарубежных стран и России.

1.5. Рекомендации по оформлению библиографического описания

Отбирая необходимые источники информации, очень важно уметь правильно оформить их запись. Существуют традиционные формы составления рабочих картотек. Эти сведения оформляются согласно ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

Унифицированное описание источников информации для книги: автор, заглавие, подзаголовочные данные, место издания, издательство, год издания, количество страниц, сведения об иллюстрационном материале. Унифицированное описание для статьи: автор, заглавие, подзаголовочные данные, название журнала, год, том, номер выпуска, страницы, сведения об иллюстрационном материале.

Примеры описания однотомной книги

Семенов, В.В. Философия: итог тысячелетий. Философская психология [Текст]/В.В. Семенов; Рос. Акад. Наук, Пущин. Науч. Центр, Ин-т биофизики клетки, Акад. проблем сохранения жизни. – Пущино: ПНЦ РАН, 2000. – 64, [3] с.; 22 см. – Рез.: англ. – Библиогр.: с. 60–65. – 200 экз.

Мюссе, Л. Варварские нашествия на Западную Европу [Текст] : вторая волна / Люсьен Мюссе; перевод с фр. А. Тополева; [примеч. А. Ю. Карчинского]. – СПб. : Евразия, 2001. – 344, [7] с. : ил. ; 21 см – (Barbaricum). – Загл. пер. и корешка: Варварские нашествия на Европу. – Библиогр.: с. 304–327. – Указ. имен., геогр. назв.: с. 328–337. – Перевод изд.: Les invasions : le second assaut contre l'Europe Chretienne / Lucien Musset. Paris, 1965. – 2000 экз. – ISBN 5-8071-0087-5 (в пер.).

Владимир (Котляров В. С.). Обитель северной столицы [Текст] : Св.-Троиц. Сергиева пустынь : ист. очерк / митр. Санкт-Петербургский и Ладожский Владимир; [послесл. игум. Николая и др.]. – СПб. : Сатись : Домострой, 2002. – 222, [1] с., [17] л. ил. : портр. ; 24 см – Библиогр.: с. 207–208, библиогр. в примеч.: с. 158–185. – 3000 экз. – ISBN 5-7373-0233-4 (в пер.).

Перроун, П. Д. Создание корпоративных систем на базе Java 2 Enterprise Edition [Текст] : рук. разработчика : [пер. с англ.] / Пол Дж. Перроун, Венката С. Р. «Кришна», Р. Чаганти. – М. [и др.] : Вильямс, 2001. – 1179 с. ; 24 см + 1 электрон. опт. диск. – На пер. 1-й авт.: Пол Дж. Перроун. – Предм. указ.: с. 1167–1179. – Перевод изд.: Building Java Enterprise systems with J2EE / Paul J. Perrone, Venkata S. R. (Krishna), R. Chaganti. Indianapolis. – 5000 экз. – ISBN 5-8459-0168-5 (в пер.).

Бочаров, И. Н. Кипренский [Текст] / Иван Бочаров, Юлия Глушакова. – 2-е изд., знач. доп. – М. : Молодая гвардия, 2001. – 390 с., [24] л. ил. ; 21 см – (Жизнь замечательных людей : ЖЗЛ : сер. биогр. : осн. в 1890 г. Ф. Павленковым и продолж. в 1933 г. М. Горьким; вып. 1009 (809). – Библиогр.: с. 385–389. – 5000 экз. – ISBN 5-235-02408-7 (в пер.).

Ерина, Е. М. Обычаи поволжских немцев [Текст] = Sitten und Brauche der Wolgadeutschen / Екатерина Ерина, Валерия Салькова; худож. Н. Стариков; [Междунар. союз нем. культуры]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Готика, 2002. – 102 с. : ил. ; 20 см – На обл. авт.

не указаны. – Текст парал. рус., нем. – Библиогр.: с. 92–93. – 3000 экз. – ISBN 5-7834-0066-1.

Агафонова, Н. Н. Гражданское право [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Агафонова, Т. В. Богачева, Л. И. Глушкова; под общ. ред. А. Г. Калпина; авт. вступ. ст. Н. Н. Поливаев ; М-во общ. и проф. образования РФ, Моск. гос. юрид. акад. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Юристъ, 2002. – 542 с. ; 22 см – (Institutiones; т. 221). – Библиогр.: с. 530–540. – 50000 экз. – ISBN 5-7975-0223-2 (в пер.).

Бахвалов, Н. С. Численные методы [Текст] : учеб. пособие для физ.-мат. специальностей вузов / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков; под общ. ред. Н. И. Тихонова. – 2-е изд. – М. : Физматлит : Лаб. базовых знаний ; СПб. : Нев. диалект, 2002. – 630 с. : ил. ; 25 см – (Технический университет. Математика). – Библиогр.: с. 622–626. – Предм. указ.: с. 627–630. – 30000 экз. – ISBN 5-93208-043-4 (в пер.).

Российский профсоюз работников судостроения. Устав общественной общероссийской организации «Российский профсоюз работников судостроения» – РПРС [Текст] : принят учред. конф. 17 дек. 1991 г. : изм. и доп. внес. I съездом профсоюза 22 дек. 1995 г., II съездом профсоюза 15 дек. 2000 г. – М. : ПрофЭко, 2001. – 43, [5] с. : ил. ; 21 см – 1000 экз.

Государственный Эрмитаж (Санкт-Петербург). Отчетная археологическая сессия (2002). Отчетная археологическая сессия за 2002 год [Текст] : тез. докл. / Гос. Эрмитаж. – СПб. : Изд-во Гос. Эрмитажа, 2001. – 62 с. : ил. ; 22 см – 300 экз. – ISBN 5-93572-047-7.

Примеры описания статьи из журнала

Иунихина, В. Злаковые смеси для детского питания с биологически активными веществами [Текст] / В. Иунихина, В. Курцева // Хлебопродукты. – 1999. – № 10. – С. 20–21.

Сорокулова, И.Б. Возбудители «картофельной болезни» хлеба и здоровье человека [Текст] / И.Б. Сорокулова // Хлебопечение России. – 2000. – № 2. – С. 30.

Тырсин, Ю.А. и др. Роль аминокислот в питании человека [Текст] / Ю.А. Тырсин // Пища, вкус и аромат. – 2000. – № 1. – С. 2–4.

Скачков, А.А. Диабет: здоровое питание – здоровый образ жизни [Текст] / А.А. Скачков // Молочная промышленность. – 1998. – № 2. – С. 9–10.

Пример описания автореферата

Игнатова, А.Ю. Гигиенические аспекты разработки и применения напитков для оптимизации рационов лиц с нарушениями углеводного обмена. [Текст] : Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05/ Игнатова Анна Юрьевна [Кемеровский гос. ун-т]. Кемерово, 2000. – 24 с. – Библиогр. : с. 43–46.

1.6. Рекомендуемые научно-технические издания

Издания для технологов пищевых производств

Отечественные:

1. Известия вузов «Пищевая технология», Краснодар.
2. Хлебопродукты, М.
3. Пиво и напитки, М.
4. Пищевая и перерабатывающая промышленность, М.
5. Биотехнология, М.
6. Вопросы питания, М.
7. АПК. Достижения науки и техники, М.
8. Индустрия напитков, М.
9. Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья, М.
10. Прикладная биохимия и микробиология, М.
11. Мир пива, М.
12. Пиво и жизнь (www.propivo.ru), М.
13. Индустрия патентов, СПб. (magazine@beverage-industry.ru).
14. Спутник пивовара (Sputnik pivovara. England Brewersguardian @ brintamet.com).

Иностранные:

1. Die Lebensmittel Industrie (Пищевая промышленность).
2. Die Nahrung. Chemie. Physiologie. Technologie. (Пища. Химия. Физиология. Технология).
3. Food Engineering.

4. Food Technology, Scien.
5. S. of Food Science.
6. Brauwelt. Мир пива.
7. J. of the Institute of Brewing Master Brewers Association of the American.
8. American Society of Brewing Chemists.

Издания для работников хлебопекарного производства

1. Реферативный журнал ВИНТИ-РЖ-19.
 2. Авторские свидетельства (СССР и зарубежные), патенты.
- Журналы:
3. Хлебопекарная и кондитерская промышленность (имеется на кафедре и в читальном зале библиотеки).
 4. Хлебопечение России.
 5. Хлебопродукты.
 6. Известия вузов. Пищевая технология.
 7. Ингредиенты.
 8. Пищевая промышленность.
 9. Хлебное дело.
 10. Вкус и аромат.
 11. Кондитерская промышленность.
 12. Сборник трудов СПбГУНиПТ.
 13. Сборник трудов Московского государственного университета пищевых производств (бывший МТИПП).
 14. Сборник трудов Воронежского технологического института.
 15. Труды и методические указания кафедры.

1.7. Система технологической документации в пищевой промышленности

Для того чтобы результат научно-исследовательской работы был внедрен в производство, необходимо разработать технологическую документацию, в которой будут регламентированы рекомендуемые параметры и режимы, полученные на основе НИР.

В пищевой промышленности существует утвержденная система стандартов по технологической документации и требований к их построению, содержанию и изложению.

Знание системы стандартов по технологической документации необходимо не только специалистам, проводящим НИР и внедряющим ее в производство, но и специалистам, работающим на производстве, так как стандарты являются основанием для осуществления технологических процессов и организации отчетности и учета в производстве.

Система стандартов по технологической документации пищевой промышленности (СТДПП) включает в себя приведенные ниже нормативно-технические документы, устанавливающие взаимоотношения правила и положения по содержанию, изложению, оформлению и обращению технологической документации, применяемой для постановки на производство и изготовление продукции.

1. Основные положения.
2. Учет и обращение технологической документации.
3. Технологические инструкции и рецептуры. Порядок разработки, согласования и утверждения.
4. Технологические инструкции и рецептуры. Требования к содержанию и оформлению.
5. Технологические регламенты. Требования к содержанию и оформлению.
6. Порядок согласования, утверждения и регистрации отраслевых стандартов технических условий и руководящих документов по стандартизации.
7. Операционные инструкции. Общие требования.
8. Инструкция. Порядок разработки и постановки продукции на производство.

1.8. Виды технологических документов

В зависимости от назначения технологические документы в пищевой промышленности подразделяются на следующие виды:

- технологический регламент;
- технологическая инструкция;
- технологическая рецептура;
- инструкция по контролю технологического процесса;
- операционная инструкция.

Технологический регламент (ТР) – документ, устанавливающий технологический процесс производства определенного вида или группы однородной продукции, в производстве которой применяются или получаютс я огне- и взрывоопасные вещества, а также вещества, вредно действующие на организм человека, животных, окружающую среду.

Технологический регламент должен содержать: характеристику изготавливаемой продукции, исходного сырья, основных и вспомогательных материалов; технологическую схему производства; описание технологического процесса и отходов производства; основные требования к безопасности технологического процесса; контроль производства; спецификацию основного технологического оборудования; КИП и средства автоматизации.

Технологическая инструкция (ТИ) – документ, разрабатываемый на процесс производства определенного вида или группы однородной продукции в целом или на его отдельную стадию, при производстве которой не применяют и не получают огне- и взрывоопасных веществ, вредно действующих на организм человека, животных, окружающую среду.

Технологическая рецептура (ТР) – документ, содержащий нормированное соотношение отдельных видов сырья и материалов для изготовления продукции с требуемыми свойствами.

Инструкция по контролю (ИК) технологического процесса – технологический документ, дополняющий содержание соответствующей технологической инструкции или технологического регламента и включающий методы контроля сырья и материалов, режимов технологических процессов, качества и количества полупродуктов и готовой продукции.

Операционная инструкция (ОИ) – технологический документ, разрабатываемый при необходимости для развития ТИ и ТР, содержащий подробное описание технологической операции или группы последовательных технологических операций с указанием технологических режимов, приемов работы, порядка пуска и остановки оборудования, контроля технологического процесса, правил санитарии и техники безопасности.

В зависимости от области распространения технологические документы подразделяются на следующие категории:

- отраслевые технологические документы;
- технологические документы предприятий (объединений).

Отраслевые технологические документы разрабатываются на продукцию, закрепленную за пищевой отраслью России.

Технологические документы предприятия (объединения) разрабатываются при необходимости детализации особенностей технологического процесса и оборудования данного предприятия (объединения) и не должны противоречить отраслевой технологической документации.

По сроку действия технологические документы подразделяются на постоянные и временные.

Постоянные документы разрабатываются на производство определенного вида (марки) продукции, выпускаемой различными предприятиями по унифицированной технологии.

Временные документы разрабатываются на опытную партию продукции, опытный технологический процесс, для уточнения определенных параметров действующего производства.

Для производства продукции предприятие-изготовитель должно иметь действующий на эту продукцию технологический регламент или технологическую инструкцию и рецептуру.

Новая продукция создается на основе одного из следующих факторов: новая рецептура; новая технология; новое сырье.

От выпускаемой продукции она отличается физико-химическими или органолептическими показателями.

Разработка и постановка на производство новых видов продукции должны производиться в следующих целях:

- выпуска изделий повышенной биологической и пищевой ценности, соответствующих современным требованиям населения;
- совершенствования ассортимента изделий для населения;
- выпуска продукции определенного назначения (например, для спортсменов).

Заказчиками могут быть министерства и ведомства России, потребители заказываемой продукции.

Заказчик должен:

- предъявить исходные требования к продукции и определить свои потребности в ней;
- принять участие в работе дегустационной комиссии и художественного совета по рассмотрению заказываемой продукции;

- согласовать нормативно-техническую документацию;
- обеспечить реализацию заказываемой продукции.

Разработчиками новых видов продукции могут быть организации и предприятия России.

Разработка новой продукции и постановка ее на производство включает в себя следующие этапы:

- составление рабочей программы;
- проведение научно-исследовательских и экспериментальных работ;
- подготовку образцов и разработку технологической документации;
- проведение экспертизы разработанной документации и ее утверждение;
- подготовку предприятия к выпуску продукции;
- приемку научно-исследовательских разработок.

Изготовителями новой продукции являются предприятия, научно-производственные и производственные организации. Разработчик и изготовитель могут быть представлены одной организацией.

Изготовитель должен:

- согласовать рабочую программу;
- совместно с разработчиком изготовить в производственных условиях опытные образцы продукции для представления на дегустационную комиссию и в художественный совет;
- обеспечить качественно и в срок технологическую подготовку производства к выпуску новой продукции.

Законченные НИР принимаются министерством или ведомством, утверждающим план НИР, совместно с организациями, выступающими в роли заказчиков данной разработки.

В процессе приемки проверяются соответствие выполненной работы требованиям технического задания (ТЗ) и научно-технический уровень разработки. По результатам приемки оформляется «Акт приемки научно-исследовательской работы», в котором указываются: данные о соответствии разработки требованиям ТЗ; результаты приемочных испытаний экспериментальных образцов, моделей или макетов, если таковые приводились комиссией; рекомендации по использованию результатов разработки. Утвержденный акт является свидетельством об окончании НИР.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

2.1. Основы организации самостоятельной работы

Самостоятельная работа предполагает обязательное ознакомление с существующими положениями информационного обеспечения в нашей стране.

Каждый студент наряду с учебными занятиями может всесторонне обобщить и проанализировать результаты своей практической и научно-практической деятельности. Кроме того, у студентов имеются все необходимые возможности для повышения теоретического уровня и использования полученных знаний в практической работе. Библиотеки остаются одним из наиболее действенных общественных институтов, призванных предоставлять каждому свободный доступ к отечественным и мировым информационным ресурсам. Крупнейшими хранилищами книг, журналов и другой печатной продукции, центрами библиографической работы и научно-технической информации сегодня в России являются Государственная публичная научно-техническая библиотека и Российская государственная библиотека, центральные отраслевые органы научно-технической информации.

В Санкт-Петербурге наибольший интерес представляют Российская национальная библиотека и библиотека Академии наук.

Проводить самостоятельную работу рекомендуется по определенному плану, который в общем виде можно сформулировать следующим образом:

- получение общей информации о проблеме с помощью энциклопедий, словарей, справочников, учебных пособий, монографий;
- дальнейшее изучение вопроса (составление личной картотеки) с помощью библиографических списков;
- поиск методических рекомендаций, обзоров, патентов и диссертационных работ;
- работа с реферативными изданиями;
- использование аудиовизуальных средств, компьютерных технологий.

Самостоятельную работу студенты выполняют по заданию преподавателя или руководителя в специально предоставленное для этого время.

Достоинства самостоятельной работы:

- активность;
- самостоятельность;
- индивидуальность темпа изучения и переработки учебного, научного материала.

2.1.1. Уровни самостоятельной работы

Первый уровень – деятельность студента направлена на прослушивание, запоминание и воспроизведение получаемой информации.

Второй уровень – деятельность студента направлена на осмысление и анализ излагаемой преподавателем или получаемой им самим информации.

Третий уровень – деятельность студента направлена на овладение образцами решения примеров и задач, получение основных умений в целях самостоятельного изучения различных областей данной науки.

Четвертый уровень – студент сталкивается с необходимостью преобразований, реконструкции, обобщений на основе объема знаний и самостоятельного поиска информации, определенной целями обучения и заданиями преподавателя.

К самостоятельным работам во время занятий относятся:

- решение типовых задач, примеров; выполнение различных упражнений по образцам и алгоритмам;
- нахождение готовых ответов в тексте; сопоставление простых планов, разрабатываемых тем; отбор и систематизация учебного материала и его устное и письменное оформление по сложившимся образцам и примерам;
- оформление иллюстраций к изучаемым вопросам по образцам и рекомендациям программы;
- проведение наблюдений, лабораторных испытаний по образцам и рекомендациям методических указаний и преподавателей.

К реконструктивным самостоятельным работам относятся:

- использование текстуальных формулировок в новых сочетаниях, устное или письменное их воспроизведение на основе увеличения числа источников информации;
- отбор и систематизация учебного материала на основе его реконструкции и вычисления главного (письменное или устное оформление);
- сопоставление сложных планов по отдельным разделам, сквозным темам, простое конспектирование;
- упражнения и решение задач, применение правил в различных ситуациях, придумывание самостоятельных примеров, составление задач, тезисов;
- проведение наблюдений, лабораторных исследований и опытов по плану или по инструкциям, представленным в виде данных в учебных или специальных пособиях;
- изыскание новых способов, средств иллюстрирования изучаемых вопросов.

Практические цели реконструктивной самостоятельной работы сводятся к осмыслению и видоизменению отображения внутренней структуры познавательного объекта, описанию и анализу их возможных результатов.

К творческим самостоятельным работам относятся:

- раскрытие новых сторон изучаемых явлений, объектов, событий и высказывание собственных суждений, оценок на основе всестороннего анализа исходных данных решаемой задачи, ситуации;
- самостоятельная разработка тематики и методики лабораторной и экспериментальной работ.

При данном виде самостоятельной работы деятельность приобретает гибкий, поисковый характер в плане переноса знаний и способов на уровень трансформации ранее усвоенных программ деятельности для решения творческих задач и открытия принципов (идей) решений, приводящих к получению существенно новой информации.

2.1.2. Виды самостоятельной работы

К видам самостоятельной работы относятся:

- работа с литературой и учебными пособиями (плакатами, таблицами, фотоснимками);

- работа со справочной литературой, документами (статистическими справочниками, словарями, энциклопедиями, приказами);
- решение и сопоставление задач;
- составление описаний, рефератов и обзоров; подготовка обзорных и научных докладов; обобщение собственного опыта;
- работы-задания, связанные с использованием иллюстраций, схем, карт, графиков.

2.1.3. Элементы и виды деятельности при самостоятельной работе

Самостоятельный научный поиск включает в себя работу с литературными источниками, постановку целей, составление плана и выбор методов исследования.

Самостоятельный научный поиск, включающий работу с литературой:

- библиографический поиск;
- перевод иностранных источников;
- воспроизведение содержания источника (статьи, лекции и т. п.) в виде конспекта или реферата;
- анализ содержания источника и его изложение в виде аннотации, рецензии, реферата;
- работа со справочной литературой.

Выполнение отдельного этапа или фрагмента исследования (частично поисковая деятельность по специальности и анализ результатов, формулировка выводов и рекомендаций):

- составление обзора литературы по актуальной проблеме;
- постановка цели, составление плана;
- выбор методов исследования;
- статистическая обработка полученной информации;
- анализ результатов наблюдений, экспериментов; формулировка выводов и рекомендаций;
- разработка и изготовление иллюстрированных материалов.

Эффективность самостоятельной работы зависит от следующих факторов: условий ее организации; интереса (мотивации) к ее выполнению; содержания и характера знаний; логики изложения задания; содержания источника новых знаний; взаимозависимости имеющихся и предлагаемых знаний и содержания данного вида работы; качества полученных студентами знаний.

Учебная самостоятельная работа студентов – это многообразие учебных, производственных и исследовательских заданий, выполняемых под руководством преподавателя, по усвоению системы общенаучных и профессиональных знаний, условий и навыков, опыта творческой деятельности.

При планировании учебной самостоятельной работы студентов определяют и те виды работ, которые должны выполняться в течение аудиторных занятий под непосредственным руководством преподавателя.

2.2. Классификация и организация научно-исследовательской работы

2.2.1. Проблема, научное направление и тема НИР

Под *научной проблемой* понимают совокупность сложных задач, в которых сформулированы основные теоретические или практические вопросы, требующие изучения, исследования и разрешения.

Для постановки проблемы необходимо не только знать новейшие достижения науки, но и историю науки в целом, чтобы не ошибиться в оценке новизны (может быть, эта проблема была поставлена ранее). В настоящее время множество проблем, возникающих в науке, решается только в результате совместной деятельности научных работников разных специальностей, что позволяет проводить исследования по различным научным направлениям.

Основой *научного направления* являются соответствующая специальная наука или ряд специальных наук, входящих в ту или иную научную отрасль, а также специальные методы исследования и технические устройства.

Тема научного исследования – составная часть проблемы; результаты исследования по той или иной теме отвечают на более узкий вопрос, но они необходимы для решения проблемы в целом.

Пищевая промышленность (ПП) является многоотраслевой, включая свыше 20 различных производств, поэтому в ПП имеются как общие, так и отраслевые научно-технические проблемы.

К *общим проблемам* относятся интенсификация и оптимизация технологических процессов, создание прогрессивной технологии и производительного оборудования, систем и средств автоматизации,

безотходной технологии производства и заводов без промышленных стоков.

Наряду с общими проблемами имеются отраслевые проблемы. Например, в хлебопекарной промышленности такой проблемой является интенсификация процесса брожения теста.

2.2.2. Классификация и основные стадии НИР

По степени важности НИР подразделяются на следующие:

- выполняемые по Госплану России;
- заданию министерств и ведомств;
- плану научно-исследовательских организаций.

В зависимости от источников финансирования НИР бывают следующие:

- госбюджетные (из средств госбюджета);
- хоздоговорные (финансируемые по заключаемым договорам с организациями-заказчиками).

По целевому назначению можно выделить:

- теоретические исследования (результатом таких исследований может быть установление в исследуемых объектах новых зависимостей, свойств, закономерностей и т. п.);
- прикладные исследования (направлены на создание новых видов техники или усовершенствование существующих средств или способов производства).

В зависимости от степени пригодности к производственному применению исследования подразделяются:

- на поисковые (целью является отыскание принципиально новых путей создания технологии и техники);
- научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (промежуточные звенья между поисковыми прикладными исследованиями и производственной деятельностью). Именно научные разработки непосредственно влияют на ускорение научно-технического прогресса, так как создаются новые конструкции или технологические процессы, не существовавшие ранее.

2.2.3. Основные этапы выполнения НИР

Процесс научного исследования включает в себя несколько этапов:

- выбор темы;
- изучение литературы по теме, патентная проработка комплексных заключений;
- планирование работы с возможным выполнением темы;
- сбор материалов, данных, исследований, заключений;
- обработка полученных данных, в том числе статистическая;
- осмысление результатов, их оформление в виде таблиц, схем, графиков, рисунков;
- обсуждение результатов, разработка выводов, составление рекомендаций;
- оформление работы;
- внедрение результатов и контроль за их внедрением;
- составление отчета.

Логическим завершением НИР должно стать внедрение результатов в практику. Ответственными за внедрение результатов научно-исследовательской работы являются руководители и ответственные исполнители темы.

Итогом завершения научно-исследовательских работ по результатам (формам внедрения) может быть следующее:

- установление нового научного факта, закономерностей, течения процессов, процедур;
- заявка на изобретение;
- разработка ГОСТов, СНИПов, нормативных и директивных документов, методических материалов;
- разработка новых санитарно-профилактических и оздоровительных мероприятий;
- разработка инструкций (правил);
- составление информационных писем;
- разработка методических указаний;
- разработка методических рекомендаций;
- разработка санитарных норм и правил;
- организация семинаров;
- публикация результатов в виде статей, тезисов, брошюр и т. д.

2.2.4. Уровни внедрения результатов НИР

Различают 4 уровня внедрения результатов НИР:

- 1) использование результатов научно-исследовательской работы на одном или нескольких предприятиях местного значения;
- 2) использование результатов НИР в масштабах города, районах;
- 3) использование результатов НИР в масштабе региона;
- 4) использование результатов НИР на федеральном уровне.

При проведении НИР используют ГОСТ 15.101–98 «Порядок проведения НИР», ГОСТ 32–91 «Отчет о научно-исследовательской работе».

2.2.5. Общие требования к отчету по НИР

По результатам выполненной НИР, итогам ее внедрения и завершения составляется отчет, к которому предъявляются определенные требования:

- четкая и логическая последовательность изложения материала;
- убедительность аргументации;
- четкость, краткость формулировок, позволяющих исключить возможность неоднозначного толкования полученных данных;
- конкретность изложения результатов работы;
- обоснованность предложений, рекомендаций.

Отчет должен содержать: титульный лист; список исполнителей (соискателей) с указанием научного руководителя, консультантов; реферат; содержание (оглавление работы); перечень условных сокращений, обозначений, символов, единиц и терминов; введение; основную часть; заключение; список использованных источников; приложения (таблицы, акты, протоколы, анкеты, вспомогательные иллюстрации, акты о внедрении НИР).

2.2.6. Основные стадии НИР

К основным стадиям НИР относятся рассматриваемые ниже стадии.

1. Разработка технического задания. Техническое задание на проведение НИР является исходным документом, определяющим целенаправленность НИР и ее технико-экономическую целесообразность,

характеристику объекта исследования, предполагаемые результаты, методы исследования, стадии и этапы проведения работы, сроки проведения и состав исполнителей. Данное задание рекомендуется оформлять в виде самостоятельного документа.

2. Проведение теоретических и экспериментальных исследований.

3. Оформление результатов НИР (отчет о НИР).

4. Приемка научно-исследовательских разработок.

2.2.7. Организация экспериментального исследования

Экспериментальные исследования делятся на лабораторные и производственные.

Лабораторные исследования проводят с применением типовых приборов, специальных установок, стендов оборудования. Данные исследования позволяют наиболее полно изучить влияние одних факторов при варьировании других, однако не всегда полностью моделируют реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении производственного экспериментального исследования.

Производственные исследования помогают изучить процесс в реальных условиях с учетом воздействия различных случайных факторов производственной среды. Такие эксперименты проводят на опытно-промышленных установках, смонтированных на заводах.

2.2.8. Выбор темы исследования

Любая НИР начинается с изучения и обработки научно-технической информации по интересующему вопросу, что позволяет обоснованно выбрать тему НИР. При выборе темы необходимо учитывать ее актуальность, практическую и теоретическую ценность, новизну, перспективность. Следует также учитывать ее реализацию в имеющихся условиях: наличие оборудования, помещения, возможность использования научного потенциала смежных коллективов, подготовку исполнителей.

Под актуальной темой понимают такую важную тему, которая требует осуществления в настоящее время.

После выбора темы исследователь приступает к ее конкретизации. Прежде всего четко определяет задачу, которая должна быть решена в ходе планируемой работы. Далее необходимо конкретизировать содержание исследования (установить, какие явления, предметы, процессы оно должно охватывать).

При конкретизации методов исследования нужно установить, будет работа выполняться в лабораторных или производственных условиях, ограничить объекты исследования.

2.2.9. Выбор и описание методики эксперимента

Прежде чем начать любой эксперимент, надо разработать методику исследования, т. е. совокупность методов и приемов, с помощью которых будет решена задача исследования.

Методика экспериментальных исследований предусматривает выбор необходимых для проведения измерений приборов, оборудования, машин, аппаратов и иногда создание уникальных приборов, экспериментальных установок, стендов для разработки темы исследования.

Измерения являются основной составной частью каждого эксперимента. От тщательности измерений и последующих вычислений зависят результаты эксперимента.

Различают три класса измерений:

- 1) особо точные – эталонные измерения с максимально возможной точностью;
- 2) высокоточные – измерения, используемые для контрольно-проверочных измерений приборов и в некоторых наиболее ответственных экспериментах;
- 3) технические – измерения, в которых погрешность определяется особенностями средств измерения.

Исследователь должен быть ознакомлен с измерительными приборами, изготавливаемыми отечественными заводами. Заводы ежегодно выпускают каталоги изготавливаемых приборов.

При выборе методов исследования надо заботиться не только о точности и надежности данных, но также о простоте и доступности выполнения отдельных анализов и экспериментальной работы в целом.

Для определения показателей, характеризующих изучаемое явление или процесс, следует выбирать новейшие методы. При этом необходимо учитывать оснащенность лаборатории современными приборами, дефицитными реактивами. Методы, выбранные для определения показателей, должны быть апробированы и освоены исследователями до начала проведения эксперимента.

2.2.10. Составление рабочего плана исследования и подготовка материальной базы для его проведения

Рабочий план – подробно разработанный проект выполнения исследования, в котором определяются:

- уточненная формулировка темы;
- общие и частные задачи работы;
- степень комплексности (в современных условиях большинство работ выполняется комплексно);
- этапы работы с указанием их объемов и содержания, объектов и методов, техники исследования, трудоемкости и сроков каждого этапа;
- распределение работы между исполнителями;
- форма представления результатов (отчет, доклад, статья).

После установления содержания и объема экспериментальных работ составляются перечень средств измерения, список исполнителей, календарный план и смета расходов; определяется количество необходимых материалов, реактивов.

Исследователь должен проверить обеспечение предстоящей работы всем необходимым. На недостающие предметы следует своевременно подать заявку, при этом указать допустимую замену.

Для проведения лабораторного эксперимента очень часто необходима специальная лабораторная установка. Ни одна экспериментальная работа, направленная на оптимизацию технологии, не может быть выполнена без установки, моделирующей технологический процесс. По своему внешнему виду установка может быть и не похожа на производственное оборудование, но обязательно должна моделировать технологический процесс.

2.2.11. Проведение исследования

До проведения экспериментальной работы целесообразно провести пробные опыты. Такой подход способствует достижению нескольких целей:

- экспериментатор знакомится с данной работой, осваивает методику эксперимента, методы определения различных показателей;
- проверяется работа отдельных элементов установки и аппаратуры;
- выясняется потребность во времени для определения отдельных показателей; интервалы при измерении каждой из величин, предусмотренных данным экспериментом;
- оцениваются возможные ошибки при определении показателей, что учитывается в дальнейшем эксперименте; больше внимания уделяется измерению величин, ошибки которых вносят основной вклад в ошибку конечного результата.

При проведении эксперимента нельзя ограничиваться одной величиной показания прибора или одним результатом анализа. Измерение отдельной величины необходимо повторить, по крайней мере, еще один раз. Такое повторение помогает избежать ошибки при снятии показаний прибора и их записи, а также позволяет оценить ошибку измерения.

При выполнении любых химических анализов лучше всего сразу готовить три параллельных определения. Тогда в результате анализа получается три значения. Если два из них одинаковы или близки по результатам, а одно отличается, следует принять то, в котором совпали результаты. Если же все три значения различаются между собой, необходимо выяснить причину ошибки, а затем провести еще три параллельных определения.

Следует помнить, что до полного завершения эксперимента, включая и обработку полученных результатов, нельзя разбирать экспериментальную установку.

2.2.12. Обработка результатов исследования

Сведение числовых данных в таблицы. Результаты измерений желательно оформлять в виде таблиц, что компактнее и проще для чтения. Значения одной и той же величины лучше всего записывать

в вертикальную графу, так как при этом легче сопоставлять цифры. В начале каждой графы следует писать символ или название соответствующей величины и единицу измерения. Иногда бывает удобно располагать наблюдаемые показатели горизонтально в строчку. Каждую таблицу следует обозначать порядковым номером, что дает возможность в дальнейшем ссылаться на нее в тексте. Если таблица всего одна, то нумеровать ее не нужно.

Иногда бывает, что отчет по исследованию состоит из нескольких глав (разделов), каждая из которых обозначается порядковым номером. В случае, если каждая глава имеет свои таблицы, они нумеруются двумя цифрами. Например:

Таблица IV.3

**Изменение химического состава масла
в зависимости от времени года**

Сезон изготовления	Количество выработок	Конъюгированные кислоты, мг %			Витамины, мг/кг		
		Тетрае- новые	Триено- вые	Диено- вые	Каро- тин	А	Е

Номер таблицы IV.3 означает, что в главе IV данная таблица третья по порядку. Каждой таблице желательно давать название в зависимости от ее содержания.

Таблицы применяют для наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей в центре строки.

При переносе части таблицы название помещают только над первой частью таблицы, нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую таблицу, не проводят.

Таблицу следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

На все таблицы должны быть ссылки в отчете. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист (страницу). При переносе части таблицы на другой лист (страницу) слово «Таблица» и ее номер указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы, например: «Продолжение табл. 1». При переносе таблицы на другой лист (страницу) заголовков помещают только над ее первой частью.

Таблицу с большим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть под другой в пределах одной страницы. Если строки и графы таблицы выходят за формат страницы, то в первом случае в каждой части таблицы повторяется головка, во втором случае – боковик.

Если повторяющийся в разных строках графы таблицы текст состоит из одного слова, то его после первого написания допускается заменять кавычками; если из двух и более слов, – то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее – кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц. Пример оформления таблицы приведен на рис. 2.1.

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

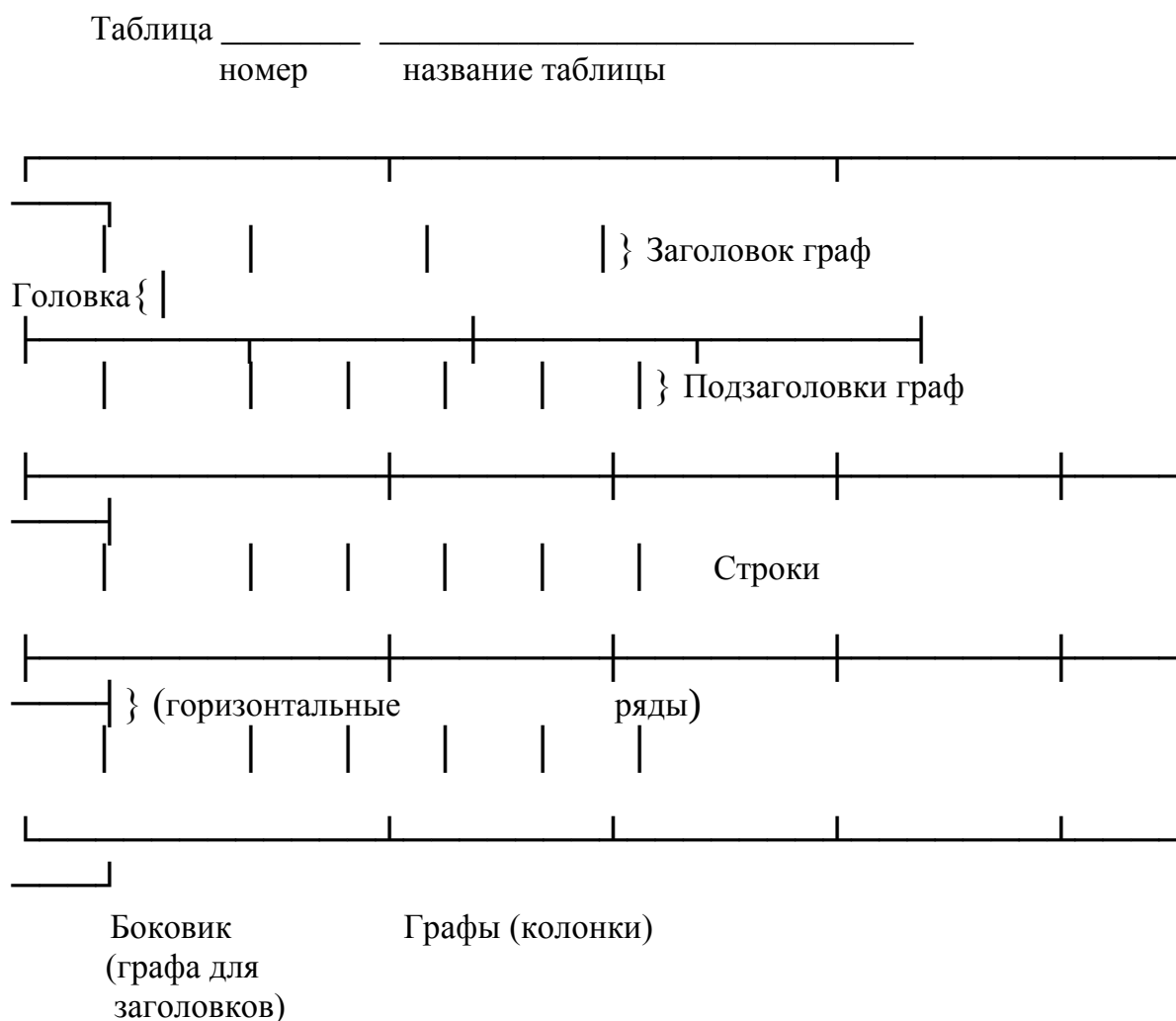


Рис. 2.1

Таблицы слева, справа, сверху и снизу, как правило, ограничивают линиями. Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы.

Оформление таблиц в отчете должно соответствовать ГОСТ 1.5 и ГОСТ 2.105.

Графическое оформление результатов исследования. Графиками пользуются для различных целей. Из графиков нагляднее, чем из таблиц, видна зависимость между изучаемыми показателями; более четко выявлены точки экстремума и характер протекания процесса. Графики дают наглядное представление о зависимости одной величины от другой и позволяют сравнивать экспериментальные данные с теоретической кривой.

Для графиков обычно применяется миллиметровая и логарифмическая бумага (полулогарифмическая и двойная логарифмическая).

Масштаб выбирают, исходя из следующих соображений:

- экспериментальные точки не должны сливаться друг с другом;
- масштаб должен быть простым. Лучше всего, если единице измеренной величины (10; 100; 0,1) соответствует 1 см (можно 1 см = 2 ед. или 1 см = 5 ед.). В других случаях при арифметических подсчетах больше вероятность ошибки.

Деления на графике следует отмечать цифрами 1, 2, 3... или 10, 20, 30... Не следует деления обозначать цифрами 10000; 20000 или 0,0001; 0,0002 и т. д. В таких случаях цифры лучше записывать в следующем виде: $1 \cdot 10^4$, $2 \cdot 10^4$ или $1 \cdot 10^{-3}$, $2 \cdot 10^{-3}$.

На осях координат следует указывать название или символ величины либо то и другое.

Через экспериментальные точки нужно проводить плавную линию, чтобы по возможности она проходила по точкам и примерно одинаковое число точек находилось по обеим ее сторонам, а не соединять их ломаной линией.

Для построения графика плавной зависимости не следует брать очень много точек и только для кривых с «max» и «min» необходимо в области экстремума наносить точки более часто.

Чтобы отличать экспериментальные данные, относящиеся к разным условиям или веществам, можно пользоваться различными значками.

Иногда бывает целесообразно показать зависимость изменения одного или двух показателей от какого-либо одного, т. е. необходимо на одном графике изобразить функции вида $y_1 = f(x)$, $y_2 = f(x)$, $y_3 = f(x)$ и т. д. В таком случае на графике параллельно наносят две

и более осей координат, каждая из которых показывает изменение различных величин и имеет свою цену делений. Например (рис. 2.2):

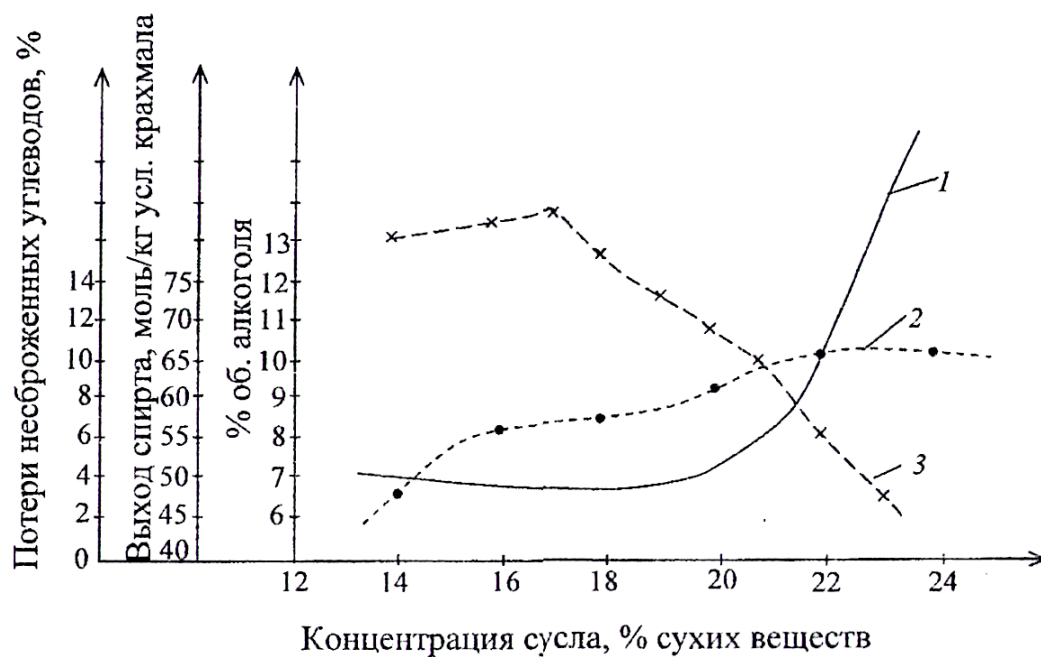


Рис. 2.2

Технологические показатели зрелой бражки в зависимости от концентрации сусла при обычных режимах сбраживания:

1 – потери несброженных углеводов; 2 – процент алкоголя; 3 – выход спирта

Ошибку полученного при эксперименте результата (рис. 2.3) можно показать следующим образом:

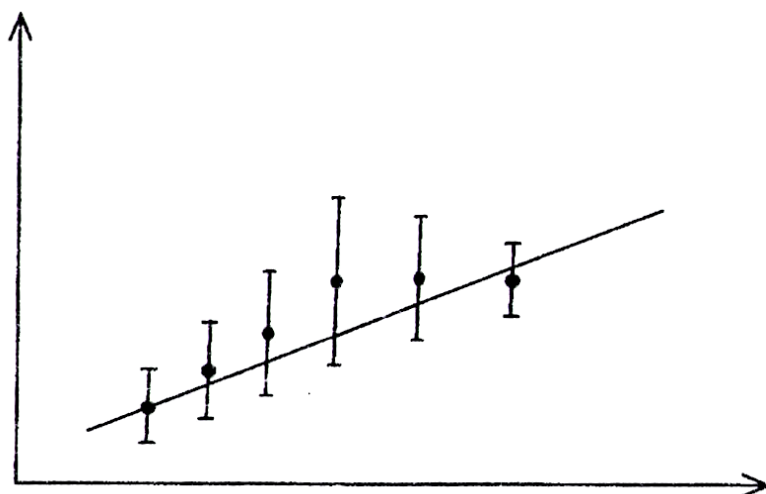


Рис. 2.3

В связи с тем, что в большинстве случаев погрешности значений функции больше погрешностей аргумента, чаще всего на график наносят только погрешности функций.

Ошибку на график наносят в виде отрезка, длина которого равна удвоенной погрешности в данном масштабе. Экспериментальная точка находится в середине отрезка, с обоих концов ограниченного черточками, указывающими границы погрешности. Поскольку нанесение таких значков усложняет график, его делают в случае, когда необходима информация об ошибках.

Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице.

Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе цветные.

На все иллюстрации должны быть даны ссылки в отчете.

Чертежи, графики, диаграммы, схемы, иллюстрации, помещаемые в отчете, должны соответствовать требованиям государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Допускается выполнение чертежей, графиков, диаграмм, схем посредством использования компьютерной печати.

Фотоснимки размером меньше формата А4 должны быть наклеены на стандартные листы белой бумаги.

Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Если рисунок один, то он обозначается «Рис. 1». Наименование рисунка располагают посередине строки.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, «Рис. 1.1».

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисовочный текст). Наименование рисунка помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: «Рис. 1. Детали прибора».

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, «Рис. А.3».

При ссылках на иллюстрации при сквозной нумерации следует писать «... в соответствии с рис. 2» и при нумерации в пределах раздела – «... в соответствии с рис. 1.2».

Ссылки. В отчете допускаются ссылки на документы, стандарты, технические условия и другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования и не вызывают затруднений в использовании документом.

Ссылатся следует на документ в целом или на его разделы и приложения. Ссылки на подразделы, пункты, таблицы и иллюстрации не допускаются, за исключением подразделов, пунктов, таблиц и иллюстраций данного документа.

При ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначение, при этом допускается не указывать год их утверждения при условии полного описания стандарта в списке использованных источников в соответствии с ГОСТ 7.1–2007.

Ссылки на использованные источники следует приводить в квадратных скобках.

Формулы и уравнения. Формулы и уравнения следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не помещается на одной строке, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (–), умножения (х), деления (:), или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, используют знак «х».

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле.

Формулы в отчете следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всего отчета арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке.

Пример

$$A = a:b, \quad (1)$$

$$B = c:e. \quad (2)$$

Одну формулу обозначают (1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (B.1).

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках. Пример: ... в формуле (1).

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (3.1).

Порядок изложения в отчете математических уравнений такой же, как и формул.

В отчете допускается выполнение формул и уравнений рукописным способом черными чернилами.

Приложения. Даются после перечня используемой литературы как продолжение отчета на последующих его страницах. В приложения включают вспомогательные материалы: промежуточные математические выкладки и расчеты; таблицы вспомогательных цифровых данных, протоколы и акты испытаний; инструкции и методики, разработанные в процессе НИР, и т. д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа, за исключением справочного приложения «Библиография», которое располагают последним.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием слова «Приложение».

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Е, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O. В случае полного исполь-

зования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц. При необходимости такие приложения могут иметь «Содержание».

Приложениям или частям, выпущенным в виде самостоятельного документа, обозначение присваивают как части документа с указанием в коде документа ее порядкового номера.

3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

3.1. Ошибки эксперимента

Основной частью любого эксперимента являются измерения. От тщательности измерений и последующих вычислений зависят результаты эксперимента. При этом следует иметь в виду, что измерения не могут быть выполнены абсолютно точно, поэтому полученный результат всегда отличается от истинного значения изучаемого параметра. Таким образом, оценка точности измерений также является неотъемлемой частью любого эксперимента.

Поскольку на каждый результат эксперимента воздействуют всевозможные случайные не учитываемые факторы, реальный результат наблюдения всегда является случайной величиной, которая отклоняется от истинного значения. Данное отклонение называется *ошибкой наблюдения*.

Различают следующие типы ошибок: грубые, систематические, случайные.

Грубая ошибка является следствием невнимательности экспериментатора, который допустил ошибку при проведении опыта либо неправильно записал результаты наблюдений. В этом случае полученные результаты значительно отличаются от других результатов той же серии опытов. Как правило, грубую ошибку обнаружить легко. Для этого необходимо повторить измерения. При обработке экспериментальных данных такая ошибка должна быть обязательно исключена.

Систематическая ошибка появляется вследствие неисправности приборов, неточности методов измерения (например, взвешивание на весах с использованием неточных разновесов). Такого рода ошибки остаются постоянными до тех пор, пока не будет установлена причина их появления, которую, как правило, обнаружить сложно. В целях уменьшения вероятности появления систематических ошибок постоянно ведется контроль за приборами; последние должны регулярно подвергаться проверке метрологических служб.

Случайная ошибка появляется случайно при повторных измерениях одной и той же величины. Данная ошибка может быть вызвана как объективными, так и субъективными причинами: несовершен-

ством приборов, измерением температуры, в процессе измерения напряжения в электрической сети, загрязнением реактивов.

Случайные ошибки имеют неизвестные экспериментатору значения, т. е. которые могут быть разными даже при измерениях, сделанных в одинаковых условиях. Поскольку причины, приводящие к случайным ошибкам, неодинаковы в каждом эксперименте и не могут быть учтены, исключить такие ошибки нельзя, можно лишь оценить их значение.

Для определения случайных ошибок используют метод математической статистики, основанный на теории вероятностей.

Основные понятия, которыми оперирует математическая статистика, рассмотрены ниже.

При любом анализе – данных опыта или результатов наблюдений – большое значение имеют понятия совокупности, генеральной и выборочной совокупности, варианты.

Совокупность – множество отдельных объектов и результатов опытов.

Генеральная совокупность – наиболее общая совокупность, по которой затем отбирают варианты для совместного изучения, поэтому фактически мы имеем дело со сравнительно небольшими выборочными совокупностями.

Объем совокупностей – число единиц совокупности n (генеральной совокупности – N). В данном случае буквой n обозначается число повторов опытов.

Значение или меру признака для той или иной единицы совокупности называют *вариантой* и обозначают X . Варианта является числовым значением случайной переменной X . Ряд вариантов в совокупности составляет $X_1, X_2, \dots, X_n$.

Вариационный ряд – распределение всех вариантов в определенном порядке. Графическое изображение вариационного ряда в общем виде называют *кривой распределения*.

3.2. Предварительная обработка результатов эксперимента

Прежде чем приступить к непосредственной статистической обработке результатов эксперимента, необходимо провести их предварительную обработку.

Во-первых, если результаты опытов представлены дробными числами, то желательно умножить их на какую-либо постоянную величину, чтобы оперировать дальше только целыми числами ($0,01 = 10^{-2}$).

Во-вторых, следует расположить результаты опытов в порядке возрастания их значений и пронумеровать.

В-третьих, результаты опытов (совокупность данных) надо проверить на присутствие так называемых выскакивающих вариантов, появление которых могло быть вызвано грубой ошибкой при проведении эксперимента. Это делают с помощью метода оценки различных крайних вариантов, для чего находят отношение

$$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}, \quad (3.1)$$

где в числителе указана разность между выскакивающей и предшествующей ей вариантами, в знаменателе – разность между наибольшей и наименьшей вариантами ряда.

Как правило, проверяют крайние варианты ряда. Например: для наибольшей варианты – отношение

$$\frac{X_5 - X_4}{X_5 - X_1} = \frac{100 - 90}{100 - 70} = 0,33;$$

для наименьшей варианты – отношение

$$\frac{X_2 - X_1}{X_5 - X_1} = \frac{75 - 70}{100 - 70} = 0,17.$$

№	X_i
1	70
2	75
3	85
4	90
5	100

Для оценки полученных значений существует специальная таблица (прил. 1), в которой в зависимости от числа вариантов и уровня достоверности 95 % указаны пограничные значения:

$$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}.$$

В частности, для $n = 5$ и уровня достоверности 95 %

$$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1} = 0,642,$$

а для уровня достоверности 99 % – 0,780.

Варианту считают высказывающей, если вычисленное значение $\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$ больше табличного. В этом случае её исключают из всех последующих операций статистической обработки.

В данном примере отношение (3.1) для наибольшей и наименьшей вариант меньше табличного и, следовательно, не исключается из обработки.

3.3. Среднеарифметическая величина Среднеквадратичное отклонение

Статистическая обработка результатов эксперимента начинается с вычисления средней величины $\bar{X}$:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (3.2)$$

где $\sum \bar{X}_i$ – сумма всех значений вариант; n – число вариант (объем выборки).

Средняя арифметическая величина является обобщающей величиной и отражает уровень всей совокупности в целом.

Следует обратить внимание на следующие свойства средней арифметической величины:

– сумма всех положительных и отрицательных отклонений от средней арифметической величины равна нулю, т. е. $\bar{X}$ – центр распределения вероятных значений случайной величины:

$$\sum (X_i - \bar{X}) = 0; \quad (3.3)$$

– сумма квадратов отклонений вариант от $\bar{X}$ есть величина наименьшая по сравнению с суммой квадратов отклонений от любой величины A , отличной от $\bar{X}$:

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 < \sum (X_i - A)^2. \quad (3.4)$$

Выражение (3.4) используется в методе наименьших квадратов. Пример (обозначим его случай «М»):

№	X_i
1	70
2	75
3	85
4	90
5	100

С учетом сказанного и формулы (3.4), $\bar{X} = 84$.

Средняя арифметическая величина указывает на то, какие значения вариант наиболее характерны для данной совокупности, так как главной особенностью совокупности является наличие разнообразия между ее членами.

Среднеквадратичное отклонение. Показатель, характеризующий вариацию (вариантный ряд), является среднеквадратичным отклонением S . Квадрат экспериментальной оценки среднеквадратичного отклонения S^2 является экспериментальной оценкой дисперсии, т. е. средний квадрат отклонений вариант от среднеарифметической величины обозначается S^2 :

$$S^2 = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (3.5)$$

Среднеквадратичное отклонение единичного результата обозначается S_{x_i} , соответственно дисперсия

$$S_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (3.6)$$

Величина $(n - 1)$ получила название «число степеней свободы». Это число свободно варьирующих членов совокупности. При этом средняя квадратичная ошибка выражается в тех же единицах, что и средняя арифметическая величина. Ошибка же средней арифметической величины $S_{\bar{X}}$ определяется по формуле

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (3.7)$$

из которой следует, что $S_{\bar{X}}$ уменьшается пропорционально корню квадратному из числа проведенных наблюдений $\sqrt{n}$.

Если выборки малы ($n < 30$), то возникает сомнение в возможности суждения по таким выборкам о генеральной совокупности. В то же время в биологических исследованиях, как правило, число вариантов невелико, поэтому для определения достоверности средней арифметической величины пользуются так называемым t -распределением по Стьюденту. Данное распределение (или t -критерий) определяют по следующей формуле:

$$t = \frac{\bar{X} - a}{S_{\bar{X}}}, \quad (3.8)$$

где a – средняя величина генеральной выборки.

Критерий Стьюдента имеет различные значения в зависимости от вероятности изучаемого процесса p , которую можно выразить математически:

$$p = \frac{m}{n}, \quad (3.9)$$

где m – число благоприятных случаев; n – число всех возможных случаев.

В биологическом исследовании используются две вероятности – 0,95 и 0,99 или 95 % и 99 %. Это значит, что отклонение от ожидаемого значения исследуемой величины для вероятности 0,95 будет в 5 % случаев, для вероятности 0,99 – в 1 %. Указанные вероятности получили название *доверительных вероятностей*, т. е. таких, значениям которых можно достаточно доверять. Вероятности, принятые

как доверительные, в свою очередь определяют доверительные границы, или доверительный интервал между ними. Значениям вероятностей соответствуют так называемые уровни значимости: для вероятности 0,95 (95 %) уровень значимости равен 0,05 (5 %). Это означает, что выход за пределы принятых границ возможен в порядке случайности с вероятностью 0,05, т. е. в 5 % случаев исследователь рискует ошибиться в своих выводах.

Величину критерия Стьюдента определяют по прил. 2. Например, при $f = 4$ уровень значимости 0,05 достигается при $t = 2,78$. Следовательно, доверительный интервал или границы, в которых находится средняя величина генеральной выборки a , можно рассчитать по формуле

$$\bar{X} - tS_{\bar{X}} \leq a \leq \bar{X} + tS_{\bar{X}}. \quad (3.10)$$

или для числа степеней свободы $f = 4$ и уровня значимости 0,05

$$\bar{X} - 2,78S_{\bar{X}} \leq a \leq \bar{X} + 2,78S_{\bar{X}}.$$

№	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	70	-14	196
2	75	-9	81
3	85	+1	1
4	90	+6	36
5	100	+16	256
Сумма	$\Sigma = 420$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 570$

Ниже приведен расчет доверительного интервала.
Согласно приведенному ранее примеру (случай «М»):

$$S^2 = \frac{570}{5-1} = 142,5;$$

$$S = \sqrt{142,5} = \pm 11,9 \%;$$

$$S_{\bar{X}} = \frac{11,9}{\sqrt{5}} = \pm 5,3 \%.$$

Тогда

$$84,0 - 5,3 \cdot 2,78 \leq a \leq 84,0 + 5,3 \cdot 2,78;$$

$$69,2 \leq a \leq 98,8.$$

Следовательно, средняя величина генеральной выборки для данного примера колеблется между 69,2 и 98,8 %.

3.4. Оценка достоверности разницы между средними арифметическими величинами двух выборочных совокупностей

Обычно на практике в результате проведения экспериментов по изучению влияния различных физико-химических параметров на биологический процесс необходимо дать оценку достоверности разницы между средними арифметическими величинами, полученными в результате проведения двух экспериментов. Как правило, одну из выборок называют контролем, другую – опытом.

При постановке задачи такого рода рассчитывают t -критерий Стьюдента по формуле

$$t_{\text{рас}} = \left| \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_{\bar{X}_1}^2 + S_{\bar{X}_2}^2}} \right|, \quad (3.11)$$

где $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ – разница между средними арифметическими величинами двух выборок (контроля и опыта).

Например, при изучении влияния на выход биомассы дрожжей нового стимулятора роста получены две выборки: первая – выход дрожжей (в процентах) при культивировании их в среде без стимулятора (контроль); вторая – при внесении в среду стимулятора (опыт). Ниже приведены результаты проведенных экспериментов.

Первая выборка:

№ варианты	Выход дрожжей, %	$X_i - \bar{X}_1$	$(X_i - \bar{X}_1)^2$
1	70	-3,5	12,25
2	72	-1,5	2,25
3	74	+0,5	0,25
4	78	+4,5	20,25
Сумма	$\Sigma = 294$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 35,00$

$$\bar{X}_1 = \frac{294}{4} = 73,5 \text{ \%};$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{35}{3}} = \pm 3,4 \text{ \%};$$

$$S_{\bar{X}_1} = \frac{3,4}{\sqrt{4}} = \pm 1,7 \text{ \%}.$$

Значение критерия Стьюдента для $f = 4 - 1 = 3$ и уровня значимости 0,05 равно 3,18.

Вторая выборка:

№ варианты	Выход дрожжей, %	$X_i - \bar{X}_1$	$(X_i - \bar{X}_1)^2$
1	73	-3,5	12,25
2	75	-1,5	2,25
3	78	+1,5	2,25
4	80	+3,5	12,25
Сумма	$\Sigma = 306$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 29,00$

$$\bar{X}_2 = \frac{306}{4} = 76,5 \text{ \%};$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{29,0}{3}} = \pm 3,1 \text{ \%};$$

$$S_{\bar{X}_2} = \frac{3,1}{\sqrt{4}} = \pm 1,6 \text{ \%}.$$

Далее на основании проведенных расчетов определяют расчетную величину критерия Стьюдента:

$$t_{\text{рас}} = \left| \frac{73,5 - 76,5}{\sqrt{1,7^2 + 1,6^2}} \right| = 1,3.$$

Расчетную величину $t_{\text{рас}}$ сравнивают с табличным значением t -критерия для числа степеней свободы $f = f_1 + f_2 = (4 - 1) + (4 - 1) = 6$ и уровня значимости 0,05: $t_{\text{табл}} = 2,45$.

В том случае, когда $t_{\text{рас}} > t_{\text{табл}}$, разница между двумя средними арифметическими величинами достоверна; в противоположном случае нельзя с достоверностью 95 % судить о различии данных, полученных при проведении контроля и опыта.

В рассмотренном примере $t_{\text{рас}} < t_{\text{табл}}$, следовательно, нет достоверности повышения выхода при внесении в среду культивирования дрожжей нового стимулятора роста.

В том случае, когда о результатах опыта судят не по количественным, а по качественным изменениям – наличию или отсутствию того или иного признака (гибель, выживание, количество клеток с почками и без почек и т. д.) – применяют другой способ оценки достоверности различий результатов двух опытов.

Пример. При обработке мелассной среды хлорной известью из 17 микроорганизмов, содержащихся в 1 г мелассы, погибло 11, следовательно,

$$p_1 = \frac{11 \cdot 100}{17} = 65 \% ; \quad p_2 = 100 - 65 = 35 \% .$$

3.5. Определение количества опытов, необходимых для получения результатов с заданной степенью точности

На основании результатов предварительно проведенных экспериментов определяют коэффициент вариации:

$$v = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}} \quad (3.12)$$

и далее рассчитывают число опытов, которое необходимо провести для получения результатов с заданной степенью точности (в процентах) по формуле

$$n = \left(\frac{vt}{I_p} \right)^2, \quad (3.13)$$

где t – критерий Стьюдента, предназначен для уровня значимости 0,05 или 0,01.

Так, для получения результатов со степенью точности $I_p = 5$ и $t = 2,78$ (для случая «М») сначала определяют коэффициент вариации, %:

$$v = \frac{11,9 \cdot 100}{84} = 14,2,$$

где 11,9 – среднеквадратичное отклонение S , %; 84 – средняя арифметическая величина выхода биомассы X , %.

Затем рассчитывают число опытов, которое следует провести в данном случае:

$$n = \left(\frac{vt}{I_p} \right)^2 = \left(\frac{14,2 \cdot 2,78}{5} \right)^2 \approx 62.$$

Если задаться степенью точности $I_p = 15$ %, то достаточно провести

$$\left(\frac{14,2 \cdot 2,25}{15} \right)^2 \approx 2 \text{ опыта.}$$

3.6. Расчет относительной погрешности любого метода при количественном определении вещества

Например, в основе колориметрического метода определения концентрации какого-либо соединения лежит следующая зависимость:

$$G = KD, \quad (3.14)$$

где G – концентрация растворенного вещества; K – коэффициент пропорциональности; D – оптическая плотность раствора.

При этом, согласно закону распространения ошибок, по данным Доерфеля, относительная ошибка при определении составляет

$$\frac{\Delta G}{G} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 + \left(\frac{\Delta K}{K} \right)^2 + \sum \left(\frac{\Delta f}{f} \right)^2}, \quad (3.15)$$

где $\sum \left(\frac{\Delta f}{f} \right)^2$ – сумма квадратов относительных погрешностей, связанных с приготовлением пробы исследуемого образца.

Коэффициент пропорциональности можно найти экспериментально калибровкой, но он также содержит ошибку, которая, согласно закону распространения ошибок, по Доерфелю, составляет

$$\left(\frac{\Delta K}{K} \right)^2 = \left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 + \left(\frac{\Delta e}{e} \right)^2 + \sum \left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2, \quad (3.16)$$

где $\frac{\Delta e}{e}$ – относительная погрешность при взятии навески вещества;

$\sum \left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2$ – сумма квадратов прочих относительных погрешностей, связанных с приготовлением раствора, для построения калибровочной кривой.

Таким образом:

$$\frac{\Delta G}{G} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 + \left(\frac{\Delta e}{e} \right)^2 + \sum \left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2 + \sum \left(\frac{\Delta f}{f} \right)^2}, \quad (3.17)$$

Максимально допустимая погрешность измерения оптической плотности на приборе ФЭК-Н-57 составляет 0,01. При расчете были использованы максимально допустимые абсолютные ошибки для мерной посуды, приведенные Доерфелем:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta G}{G} &= \pm 100 \sqrt{0,01^2 + 0,01^2 + \left(\frac{0,1}{100} \right)^2 + \left(\frac{0,08}{100} \right)^2 + \left(\frac{0,06}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,023}{20} \right)^2} = \\ &= \pm 100 \sqrt{10^{-4} + 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-6} + 9 \cdot 10^{-6} + 1,3 \cdot 10^{-6}} = 1,4 \%, \end{aligned}$$

т. е. относительная погрешность метода при количественном определении вещества составляет 1,4 %.

4. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Современное развитие биотехнологии невозможно без широкого применения методов математического планирования экспериментов. Начало математическому планированию экспериментов положили в 30-х годах работы Р. Фишера. В частности, им были разработаны планы полного факторного эксперимента. В последнее время фундаментальные работы Бокса позволили применять высокоэффективные схемы планирования, такие как метод крутого восхождения и планы высших порядков. Данные методы в первую очередь нашли широкое применение при решении задач оптимизации химико-технологических процессов и только в последнее время начали использоваться в биологии.

Основным преимуществом математического планирования, по сравнению с классическими методами исследования, является возможность одновременного влияния на эффективность процесса большого числа факторов. Кроме того, этот метод позволяет наряду с количественным учетом каждого отдельного фактора установить наличие в системе межфакторных взаимодействий и оценить эффект последних, а также определить значения параметров при оптимальной эффективности процессов.

4.1. Анализ результатов экспериментов

В результате анализа информационного массива необходимо установить непрерывность или дискретность (прерывистость) исследуемого параметра (исследуемых параметров) в зависимости от входных данных.

В непрерывных объектах все входные сигналы представляют собой непрерывные функции выходных параметров от входных. В дискретных объектах все входные сигналы колеблются с определенной амплитудой вокруг теоретического значения.

Практические задачи иногда требуют использования простого математического аппарата для описания эмпирической зависимости выходного параметра от входного (входных параметров) только в определенном диапазоне. В более сложных случаях требуется определить твердо установленные закономерности и структурные

параметры. Закономерности определяют, как правило, на основе создания и решения математических моделей процесса.

В результате поискового эксперимента и анализа априорного информационного массива устанавливают схемы взаимодействия рассматриваемого объекта с внешней средой по соотношению входных и выходных параметров. В принципе возможно установление следующих четырех схем взаимодействия:

1) *одномерно-одномерной* (рис. 4.1, а) – на объект воздействует только один фактор (один входной сигнал), а его поведение рассматривается по одному показателю (один выходной сигнал);

2) *одномерно-многомерной* (рис. 4.1, б) – на объект воздействует один фактор, а его поведение оценивается по нескольким показателям;

3) *многомерно-одномерной* (рис. 4.1, в) – на объект воздействуют несколько факторов, а их поведение оценивается по одному показателю;

4) *многомерно-многомерной* (рис. 4.1, г) – на объект воздействует большое количество факторов, а их поведение оценивается по большому количеству показателей.

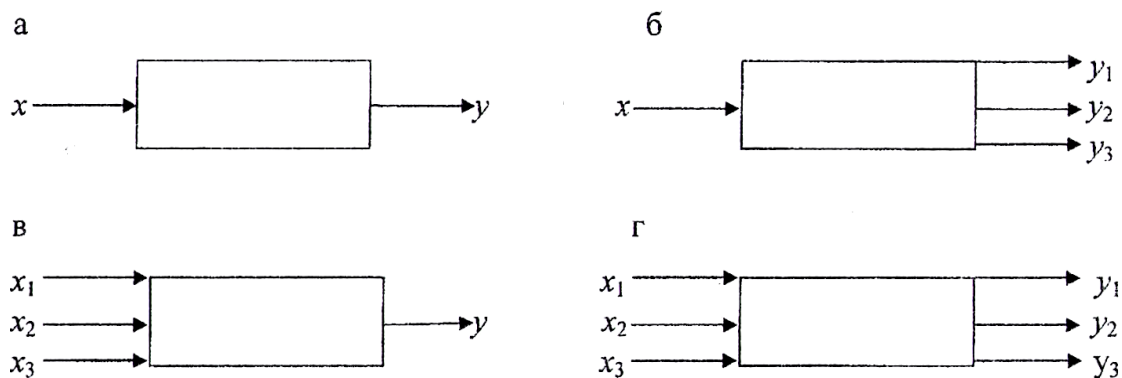


Рис. 4.1. Схемы взаимодействия объекта с внешней средой:
а – одномерно-одномерная; б – одномерно-многомерная;
в – многомерно-одномерная; г – многомерно-многомерная

При проведении исследования часто приходится находить оптимальные параметры, при которых показатели процессов принимают экстремальные (максимальные или минимальные) значения.

4.2. Постановка задачи оптимизации

При производстве хлебопекарных дрожжей, в пивоварении и в ходе других биотехнологических процессов часто возникает задача выбора оптимальных условий культивирования, протекание которого зависит от большого числа факторов.

Оптимальность протекания процесса при выбранном соотношении условий (факторов внешней среды) оценивается параметрами, или категориями, оптимизации. Важным вопросом экспериментального исследования является выбор критерия оптимизации. Критерии оптимизации включают в себя экономические показатели и должны иметь численное выражение. Если ставится задача оптимизировать какую-либо часть технологического процесса, то за частный критерий оптимизации принимают технологический параметр.

В биотехнологических процессах такими частными критериями оптимизации могут быть: выход биомассы, удельный съем продукта, себестоимость продукта и т. д.

Задачей исследования является нахождение путем проведения некоторого количества экспериментов при различных сочетаниях уровней факторов максимальной и минимальной величин выбранного критерия (параметра) оптимизации.

4.3. Общие приемы поиска оптимального значения критерия оптимизации

Уравнение (4.1) описывает некоторую гиперповерхность в многомерном пространстве, следовательно, изучение многофакторной системы можно представить как исследование формы этой поверхности, называемой поверхностью отклика:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (4.1)$$

В простейших случаях, когда имеют дело с одним или несколькими факторами, поверхность отклика достаточно легко представить наглядно. Так, зависимость $y = f(x)$ представляет собой кривую на плоскости; зависимость $y = f(x_1, x_2)$ изображается поверхностью отклика в трехмерном пространстве. Обычно поверхность отклика в трехмерном пространстве, аналогично горизонталям на топогра-

фических картах, изображают в виде ее проекции на плоскость x_1Ox_2 . Если же число факторов x больше трех, то поверхность отклика лишена наглядного восприятия. Для функции $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ используют уравнение, представляющее собой разложение этой функции в степенной ряд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i,j=1}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i,j=1}^m b_{iij} x_i^2 x_j + \dots, \quad (4.2)$$

где x_{ij} – переменные факторы; b_i, b_j – коэффициенты регрессии при соответствующих переменных, значения которых определяют форму поверхности отклика в изучаемой области.

Уравнение (4.2) называется уравнением регрессии.

Наличие в уравнении членов x_i, x_j и x_i^2 и x_j^2 свидетельствует о том, что данная зависимость является криволинейной.

На практике в целях упрощения расчетов и сокращения числа экспериментов, необходимых для нахождения оптимальной величины функции (экстремума), стремятся ограничиться линейной моделью, проводя эксперименты в узкой области поверхности отклика. При этом уравнение регрессии принимает вид

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_n x_n. \quad (4.3)$$

При необходимости, когда нельзя ограничиться линейным приближением, следует учитывать члены второй степени:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (4.4)$$

Следует иметь в виду, что чем больше в уравнении регрессии членов степеней выше единицы, а следовательно, и коэффициентов регрессии, тем больше надо провести опытов для нахождения этих коэффициентов.

4.4. Способы решения задачи оптимизации

С геометрической точки зрения решение задачи оптимизации заключается в достижении наивысшей (наинизшей) точки поверхности отклика, что соответствует нахождению оптимума функции $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ по всем переменным.

Если исследователь не знаком с математическими методами планирования эксперимента, он обычно использует одну из двух схем поиска оптимальных условий.

Первая схема, наиболее часто употребляемая (схема Зайделя–Гаусса), состоит в том, что изучается влияние одного из факторов внешней среды на параметр оптимизации при постоянном уровне других факторов, которые составляют так называемый «фон». Что это значит?

Допустим, выход биомассы дрожжей определяется целым рядом факторов $x_1, x_2, \dots, x_n$. Из них выбирается один фактор, например x_3 , представляющий интерес для исследования, и при постоянном уровне других ($x_1 = \text{const}, x_2 = \text{const}, x_4 = \text{const}, \dots, x_n = \text{const}$) ставится серия опытов, в которых фактор x_3 варьируется.

Результаты данных опытов позволяют построить график зависимости параметра оптимизации y от уровня значения x_3 , т. е. определяется зависимость $y = f(x_3)$, и таким образом найти частный оптимум по данному фактору (рис. 4.2). Частный, так как при изменении «фона», а он будет изменен в связи с тем, что все остальные факторы еще не находятся на оптимальном уровне, может измениться и экспериментальный уровень значения фактора x_3 .

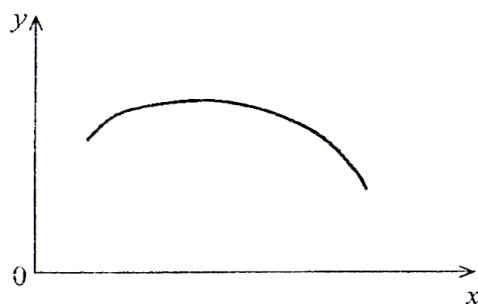


Рис. 4.2. Общий вид зависимости параметра оптимизации от изменения одного фактора:

$$y = f(x)$$

Далее переходят к поиску оптимума для следующего фактора, изменяя при этом «фон» так, чтобы ранее изучавшийся фактор x_3 был на уровне найденного частного экстремума.

Так последовательно поступают со всеми факторами, меняя одновременно «фон». Естественно, что чем больше количество факторов, тем более длителен путь движения к оптимуму (экстремуму).

Движение к оптимуму при использовании данной схемы показано на рис. 4.3.

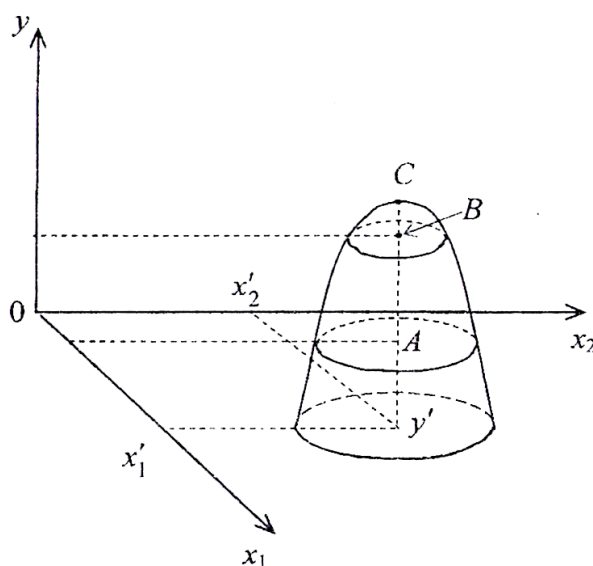


Рис. 4.3. Общий вид зависимости $y = f(x_1, x_2)$

На рис. 4.3 рассматривается случай оптимизации, зависящей от двух факторов. Если за исходную точку движения взята точка A , то, фиксируя переменную x_1 , двигаются с некоторым постоянным шагом, изменяя переменную x_2 до тех пор, пока система не достигнет частного экстремума в точке B . Затем фиксируют x_2 на уровне точки B и двигаются с некоторым шагом, изменяя x_1 вплоть до достижения нового частного оптимума в точке C , и т. д.

Вторая схема поиска экстремума, еще более трудоемкая, состоит в том, что рабочий диапазон изменения уровня факторов делится на некоторое число уровней, обычно три–пять (рис. 4.4), а затем реализуется для всех возможных сочетаний уровней.

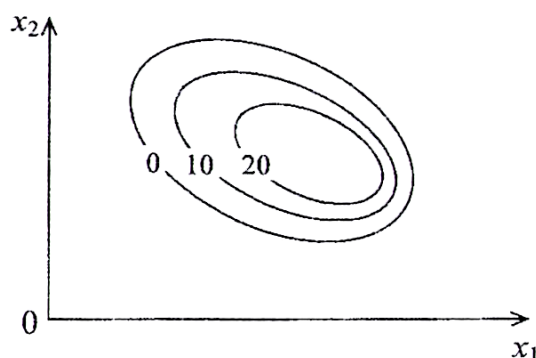


Рис. 4.4. Проекция поверхности отклика на плоскость

Количество таких вариантов для пяти факторов на пяти уровнях составляет $5^5 = 3125$.

4.5. Метод Бокса

Наиболее широкое применение для решения описанных выше задач оптимизации получил в последнее время метод Бокса. По этому методу вблизи исходной точки («фона») ставится специальным образом спланированная небольшая серия опытов, в которой одновременно варьируются все изучаемые факторы, каждый – на двух уровнях (верхнем и нижнем). Результаты данных опытов математически обрабатываются для получения линейного приближенного уравнения, по которому можно найти направление количественного изменения факторов для наиболее короткого движения к оптимуму (метод крутого восхождения).

Метод крутого восхождения предполагает исследование формы поверхности отклика по планам так называемого факторного эксперимента, что дает возможность учесть межфакторные взаимодействия и приводит к более быстрому достижению стационарной области.

После математической обработки планируется проведение трех–шести проверочных опытов в направлении движения к оптимуму (рис. 4.5).

Поскольку обычно биологические процессы сложные, планируемые проверочные опыты не приводят сразу же к абсолютному экстремуму. Поэтому после выполнения программы крутого восхож-

дения наилучшая из достигнутых точек выбирается в качестве нового «фона», и описанный цикл повторяется.

Так продолжается до тех пор, пока рассчитанный по результатам опытов критерий Фишера не покажет, что процесс находится в области, близкой к оптимальной.

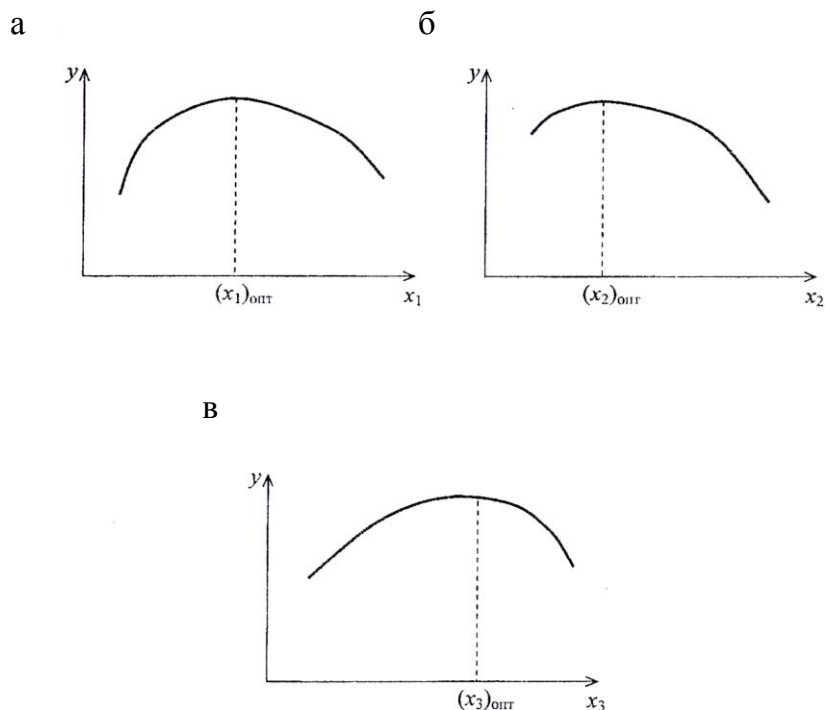


Рис. 4.5. Движение к оптимуму при использовании схемы Зайделя–Гаусса:

а – оптимальное; б – сдвиг влево; в – сдвиг вправо

Затем ставят большую по объему серию опытов для более точного математического описания указанной области. По этому математическому описанию рассчитывают оптимальные условия ведения процесса.

Такова принципиальная схема метода Бокса. Как видим, в данной схеме математические процедуры планирования опытов и расчеты чередуются с определенным образом поставленным экспериментом.

Прежде чем приступить к ее подробному разбору, остановимся на требованиях, предъявляемых к факторам:

– факторы должны быть управляемыми, т. е. установлены на выбранных уровнях;

– факторы должны быть однозначными и непосредственно воздействовать на объект исследования (в плане могут участвовать сложные факторы, такие как логарифмы концентраций, соотношение между компонентами и т. д.);

– точность измерения факторов должна отвечать поставленной задаче;

– факторы должны быть совместимыми; это означает, что все их комбинации осуществимы и безопасны;

– факторы должны быть независимыми, т. е. каждый из факторов может быть установлен на любом уровне независимо от уровней других факторов.

4.5.1. Схема планирования эксперимента

Планированию эксперимента предшествует анализ результатов предыдущих исследований (как собственных, так и описанных в литературных источниках). На основании данного анализа выбирается нулевой (основной) уровень, или исходный уровень «фона», т. е. такие значения факторов, в области которых значения параметра оптимизации наилучшие. Например, это может быть ранее известный состав среды или состав, предположительно благоприятный для развития данного микроорганизма.

Значение фактора на нулевом уровне (уровне «фона») обозначается X_{i0} , т. е. $X_{10}, X_{20}, \dots, X_{i0}$.

Далее, как указывалось ранее, первоначально ставится серия опытов на двух уровнях – верхнем и нижнем. Для каждого фактора эти уровни отличаются от основного уровня (исходного уровня «фона») на одну и ту же величину, обозначаемую как интервал варьирования λ . Интервалы варьирования для каждого фактора, как правило, различны, они выбираются произвольно на основании предварительных данных о процессе.

Верхний X_i^+ и нижний X_i^- уровни изучаемых факторов образуются в результате прибавления (вычитания) к основному (нулевому) уровню выбранного интервала варьирования:

$$X_i^+ = X_{i0} + \lambda_i; \quad (4.5)$$

$$X_i^- = X_{i0} - \lambda_i. \quad (4.6)$$

Таким образом, X_{i0} представляет собой среднее арифметическое между выбранными уровнями факторов:

$$X_{i0} = \frac{X_i^+ + X_i^-}{2}. \quad (4.7)$$

Для облегчения последующих расчетов коэффициентов регрессии производят преобразование (кодирование) переменных факторов по формуле

$$x_i^{+(-)} = \frac{X_i^{+(-)} - X_{i0}}{\lambda_i}, \quad (4.8)$$

где X – значение фактора на верхнем или нижнем уровне в натуральных единицах; x – значение фактора в кодированных единицах.

В соответствии с уравнением (4.8) изучаемые факторы в кодированных единицах будут равны:

$$x_j^+ = +1; \quad x_j^- = -1.$$

Количество вариантов опытов, которые надо поставить в исходной серии, зависит от количества исходных факторов. Всего на двух уровнях для n факторов количество вариантов опытов составит 2^n , т. е. для $n = 4$ факторов $2^4 = 16$, для $n = 8$ факторов $2^8 = 256$.

Чтобы приблизительно описать процесс линейным уравнением, необходимым для расчета крутого восхождения и возможности статистической оценки адекватности данного уравнения, достаточно поставить от $(n + 2)$ до $(n + 6)$ вариантов опытов. При этом важно, чтобы все варианты были разными и в них одинаковое число раз встречались верхние и нижние уровни каждого фактора.

Для упрощения расчетов и более точного определения направления движения к оптимуму, согласно методу Бокса, опыты ставятся по ортогональным матрицам.

Планы ортогональных матриц разработаны для разного числа факторов n и могут включать различное число вариантов u планирования. Целесообразно для опытов выбирать матрицы с количест-

вом вариантов более чем $(n + 2)$. В табл. 4.1–4.4 приведены наиболее часто встречающиеся на практике ортогональные матрицы. В данных матрицах факторы обозначены буквой x с соответствующим индексом, верхний уровень (+1) – со знаком плюс, нижний уровень (–1) – со знаком минус.

Таблица 4.1

Матрица планирования для двух факторов на двух уровнях

u	x_1	x_2
1	–	–
2	+	–
3	–	+
4	+	+

Таблица 4.2

Матрица планирования для трех факторов на двух уровнях

u	x_1	x_2	x_3
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	–	–	+
6	+	–	+
7	–	+	+
8	+	+	+

Таблица 4.3

Матрица планирования для четырех факторов на двух уровнях

u	x_1	x_2	x_3	x_4
1	–	–	–	–
2	+	–	–	+
3	–	+	–	+
4	+	+	–	–
5	–	–	+	+
6	+	–	+	–
7	–	+	+	–
8	+	+	+	+

Таблица 4.4

Расширенная таблица для пяти факторов на двух уровнях

u	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	—	—	—	—	—
2	—	—	+	+	—
3	+	—	+	—	+
4	—	—	—	+	+
5	—	+	+	+	—
6	—	+	+	—	+
7	+	+	—	+	—
8	+	—	+	—	—
9	+	+	—	—	—
10	—	+	—	—	+
11	+	—	—	+	+
12	+	+	+	+	+

После реализации экспериментов в соответствии с выбранной матрицей получаем некоторые значения параметра оптимизации, представляющие собой среднеарифметические величины. В этом случае уравнение математической модели имеет вид

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n, \quad (4.9)$$

где $\bar{y}$ – параметр оптимизации процесса; b_1 – экспериментальные оценки коэффициентов регрессии, показывающие влияние факторов на параметр оптимизации; $x_1, x_2, \dots, x_n$ – значения уровней факторов в кодированных единицах.

Для того чтобы показать, как на основании экспериментальных данных определяют коэффициенты регрессии, рассмотрим простейшее уравнение регрессии, полученное при реализации матрицы, приведенной в табл. 4.1, в котором изучается влияние на параметр оптимизации лишь двух факторов – x_1 и x_2 :

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2. \quad (4.10)$$

Для определения b_i подставим значения x_1 и x_2 в кодированных единицах, взятые из табл. 4.1, в уравнение (4.10) и получим систему

уравнений, связывающих результаты опытов $\bar{y}_u$ с величинами коэффициентов регрессии b_i :

$$\left. \begin{aligned} \bar{y}_1 &= b_0 - b_1 - b_2; \\ \bar{y}_2 &= b_0 + b_1 - b_2; \\ \bar{y}_3 &= b_0 - b_1 + b_2; \\ \bar{y}_4 &= b_0 + b_1 + b_2. \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

Тогда коэффициенты регрессии можно вычислить по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4}; \quad (4.12)$$

$$b_1 = \frac{-\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4}; \quad (4.13)$$

$$b_2 = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4}. \quad (4.14)$$

Формулы расчета коэффициентов регрессии (4.12)–(4.14) могут быть представлены в общем виде:

$$b_i = \frac{\sum x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (4.15)$$

$$b_0 = \frac{\sum \bar{y}_u}{N}, \quad (4.16)$$

где x_{iu} – значение переменной в соответствующем столбце плана эксперимента ($x_{iu} = \pm 1$); $\bar{y}_u$ – результат u -го опыта, среднее арифметическое значение; N – общее число опытов; u – номер варианта опыта; i – номер фактора.

Таким образом, коэффициенты для каждого фактора вычисляют по формулам (4.15), (4.16), т. е. складывают величины параметра оптимизации $\bar{y}_u$ во всех вариантах, в которых данный фактор находится на верхнем уровне, и из полученной суммы вычитают сумму значений выхода всех вариантов, где данный фактор присутствует на нижнем уровне; полученный результат делят на общее число вариантов в матрице планирования N .

Коэффициент регрессии может быть со знаком плюс или со знаком минус в зависимости от того, увеличивает ли данный фактор параметр оптимизации или уменьшает.

Поскольку определение выхода процесса $\bar{y}_u$ и обеспечение заданного уровня факторов осуществляются неточно, а с некоторой ошибкой, то и коэффициенты регрессии будут определены с ошибкой.

Для подтверждения адекватности полученного уравнения наблюдаемому процессу проводят:

- статистический анализ значимости коэффициента регрессии b_i ;
- проверку адекватности уравнения регрессии.

Статистический анализ значимости коэффициентов уравнения регрессии

Следующий этап обработки результатов эксперимента – статистическая проверка значимости коэффициента регрессии, т. е. определение с заданной вероятностью влияния фактора на процесс.

Если полученная абсолютная величина $|b_i|$ больше ошибки его определения, то такой фактор оказывает влияние; если значение $|b_i|$ меньше или равно ошибке его определения, то эффекта от фактора нет.

Для оценки значимости коэффициента регрессии прежде всего находят дисперсию $S_{b_i}^2$.

Поскольку в биологических экспериментах каждый опыт в матрице повторяют несколько раз (не менее трех) и их число одинаково, то расчет ведут следующим образом.

Подсчитывают построчные дисперсии по формуле

$$S_{y_{ul}}^2 = \frac{\sum y_{ul}^2 - \frac{\sum y_{ul}^2}{m}}{m - 1}, \quad (4.17)$$

где u – номер строки в матрице планирования; l – номер в каждой строке; m – число повторений в каждой строке.

Определяют дисперсию единичного значения:

$$S^2_y = \frac{\sum S^2_{y_{ul}}}{N}, \quad (4.18)$$

где N – число вариантов в матрице.

Поскольку при расчете коэффициентов регрессии используют средние значения $\bar{y}_u$, полученные из m повторов в каждом опыте, определяют дисперсию среднего значения:

$$S^2_{\bar{y}} = \frac{S^2_y}{m}, \quad (4.19)$$

где $S^2_{\bar{y}}$ – дисперсия воспроизводимости.

Далее определяют дисперсию коэффициентов регрессии, которая в N раз меньше дисперсии воспроизводимости каждого отдельного результата опыта в матрице планирования. Таким образом, можно записать

$$S^2_{b_i} = \frac{S^2_{\bar{y}}}{N}, \quad (4.20)$$

или

$$S^2_{b_i} = \frac{\sum S^2_{y_{ul}}}{mN^2}. \quad (4.21)$$

Коэффициент регрессии можно считать отличным от нуля, т. е. значимым, в том случае, если выполняется следующее неравенство:

$$|b_i| > t \sqrt{S_{b_i}^2}, \quad (4.22)$$

где $\sqrt{S_{b_i}^2}$ – ошибка определения b_i в эксперименте; t – критерий Стьюдента, значение которого зависит от числа опытов, точнее – от числа степеней свободы, и принятого уровня значимости.

Число степеней свободы $f = (m - 1) N$ – уровень значимости, который характеризует степень достоверности выводов, сделанных на основании неравенства (4.22); для биологических процессов принимается в пределах 1–5 %-го уровня. Это свидетельствует о том, что утверждение об отличии расчетного значения b_i от нуля будет справедливо с вероятностью 99–95 %.

Значение t определяется по прил. 2.

Если в результате определения коэффициент регрессии по абсолютной величине больше доверительного интервала $t S_{b_i}$, то он значим, и наоборот.

Незначимость коэффициента регрессии может быть вызвана следующими причинами:

- слишком маленькими интервалами варьирования фактора;
- плохой воспроизводимостью процесса, т. е. все различия в величине критериев оптимизации нивелируются ошибкой опыта;
- при нахождении фактора на уровне, близком к оптимальному.

Если большинство коэффициентов значимы, а один–два не значимы, то, по-видимому, плохо выбраны интервалы варьирования для этих факторов. В таком случае можно провести крутое восхождение по остальным факторам, а для приведенных выше двух факторов изменить интервалы варьирования.

Проверка гипотезы адекватности

Полученное в результате факторного эксперимента уравнение регрессии (4.9) связывает уровни факторов с параметром оптимизации процесса y в изучаемой области поверхности отклика. Данное уравнение позволяет определить без дополнительной поверхности эксперимента величины y внутри исследуемой области.

Для того чтобы убедиться, что полученное уравнение регрессии с достаточной точностью (адекватно) описывает изучаемый процесс, необходимо произвести следующие действия:

а) рассчитать значение y_u для каждого варианта опыта, подставляя кодированные значения факторов в уравнение регрессии, например,

$$y_1 = b_0 + |b_1| -1 + |b_2| -1$$

или

$$y_2 = b_0 + |b_1| +1 + |b_2| -1 \text{ и т. д.};$$

б) найти разницу между фактическим значением выхода в каждом варианте $\bar{y}_u$ (средним для m повторностей) и расчетным значением y_u ;

в) определить величину погрешности воспроизводимых результатов дисперсией адекватности, которую надо рассчитать по формуле

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y} - y^2}{N - N'}, \quad (4.23)$$

где N – варианты матрицы; N' – число значимых коэффициентов регрессии, в том числе и b_0 ;

г) определить расчетный критерий Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{\bar{y}}^2}, \quad (4.24)$$

где $S_{\bar{y}}^2$ – дисперсия среднего значения $\bar{y}$.

Значение F_p должно быть больше единицы, поэтому в числителе ставится большая дисперсия;

д) найденный критерий Фишера следует сравнить с его табличным значением, которое зависит от числа степеней свободы $f_{ад} = N - N'$ при определении $S_{ад}^2$ и числа степеней свободы дис-

персии воспроизводимости процесса $f = (m-1) N$. Табличные значения критерия Фишера F_T даны в прил. 3.

Если $F_T > F_p$, то уравнение адекватно и можно переходить к следующему этапу работы – крутому восхождению. Если $F_T > F_p$, то это свидетельствует о близости процесса к около оптимальной области, т. е. в данном случае нельзя ограничиться линейным приближением, необходимо учесть члены второй степени – см. уравнение (4.4).

4.5.2. Метод крутого восхождения

Для расчета программы крутого восхождения сначала находят для каждого фактора произведение коэффициента регрессии b_i на интервал варьирования λ_i , т. е. $b_i\lambda_i$, $b_2\lambda_2$ и т. д. Эти произведения, как и коэффициенты регрессии, могут быть со знаками плюс и минус. Для увеличения выхода фактор с положительным коэффициентом регрессии следует увеличивать, фактор с отрицательным коэффициентом – уменьшать.

Необходимо также определить «запас» для движения по каждому фактору Δ_i от основного уровня (уровня «фона» в матрице планирования) до практически целесообразной величины в направлении ее увеличения или уменьшения $\Delta_i = X_{i\max} - X_{i0}$. Затем вычисляют абсолютные значения отношений $\Delta_i/b_i\lambda_i$ для каждого фактора. Фактор, у которого это отношение окажется наименьшим, используется в качестве базового. Для данного фактора и выбирается шаг крутого восхождения. Удобно взять шаг, равный $\Delta/5 - \Delta/8$, т. е. чтобы в запасе осталось пять–восемь шагов данного фактора.

Шаги для всех остальных факторов выбираются пропорционально их произведениям $b_i\lambda_i$. Так, если шаг базового фактора обозначить S , а его произведение $b\lambda$, то шаг любого i -го фактора

$$S_i = S \frac{b_i\lambda_i}{b\lambda}. \quad (4.25)$$

После этого создают программу крутого восхождения, в которой в каждом следующем варианте изменяют величину фактора на адекватные шаги. В соответствии со знаком коэффициентов

регрессии факторы при этом будут либо уменьшаться, либо увеличиваться.

Если при математической обработке матрицы планирования некоторые факторы оказались незначимыми, то при расчете программы крутого восхождения их можно брать на том же основном уровне.

Практически программа крутого восхождения включает три–пять, шагов.

Экспериментальная проверка программы крутого восхождения обычно позволяет увеличить параметр оптимизации по сравнению с исходным уравнением и найти новую исходную точку для следующей серии опытов. В данной точке снова ставят матрицу планирования. Процедуру продолжают до тех пор, пока критерий Фишера не превысит табличное значение ($F_p > F_T$).

4.5.3. Полный факторный эксперимент

В том случае, когда процесс невозможно описать уравнением линейного приближения (4.3), для исследования формы поверхности отклика следует использовать планы факторных экспериментов: полных факторных экспериментов (ПФЭ) и дробных факторных экспериментов (ДФЭ). В основе планирования факторного эксперимента лежит реализация всех возможных комбинаций и исследуемых факторов на двух уровнях, т. е. для осуществления этих планов следует поставить 2^n опыта.

В результате реализации ПФЭ 2^2 (табл. 4.5) уравнение математической модели имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2. \quad (4.26)$$

Появление третьего столбца в плане ПФЭ 2^3 влечет за собой образование четырех вспомогательных столбцов (табл. 4.6), поэтому по результатам ПФЭ 2^3 следует определить 8 коэффициентов регрессии в уравнении

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (4.27)$$

В результате полного факторного эксперимента ПФЭ 2^4 процесс описывается уравнениями регрессии:

$$y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4. \quad (4.28)$$

Таблица 4.5

Матрица планирования эксперимента для описания двухфакторного процесса с учетом межфакторных взаимодействий

u	x_1	x_2	x_1x_2	$\bar{y}_u$
1	—	—	+	$\bar{y}_1$
2	+	—	—	$\bar{y}_2$
3	—	+	—	$\bar{y}_3$
4	+	+	+	$\bar{y}_4$

Таблица 4.6

Матрица планирования эксперимента для описания трехфакторного процесса с учетом всех межфакторных взаимодействий

u	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_2x_3	x_1x_3	$x_1x_2x_3$
1	—	—	—	+	+	+	—
2	+	—	—	—	+	—	+
3	—	+	—	—	—	+	+
4	+	+	—	+	—	—	—
5	—	—	+	+	—	—	+
6	+	—	+	—	—	+	—
7	—	+	+	—	+	—	—
8	+	+	+	+	+	+	+

По плану, приведенному в табл. 4.7, четырехфакторный процесс можно описать неполным квадратичным уравнением

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4. \quad (4.29)$$

Таблица 4.7

**Матрица планирования эксперимента для описания
четырёхфакторного процесса неполным квадратным уравнением**

u	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4
1	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+
2	+	–	–	–	–	–	–	+	+	+
3	–	+	–	–	–	+	+	–	–	+
4	+	+	–	–	+	–	–	–	–	+
5	–	–	+	–	+	–	+	–	+	–
6	+	–	+	–	–	+	–	–	+	–
7	–	+	+	–	–	–	+	+	–	–
8	+	+	+	–	+	+	–	+	–	–
9	–	–	–	+	+	+	–	+	–	–
10	+	–	–	+	–	–	+	+	–	–
11	–	+	–	+	–	+	–	–	+	–
12	+	+	–	+	+	–	+	–	+	–
13	–	–	–	+	+	–	–	–	–	+
14	+	–	+	+	–	+	+	–	–	+
15	–	+	+	+	–	–	–	+	+	+
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

В матрицах (см. табл. 4.5–4.7) столбцы x_1, x_2, x_3, x_4 образуют собственно план эксперимента, определяя уровни факторов в конкретных опытах. Столбцы x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3 и так далее имеют вспомогательное значение при расчетах коэффициентов регрессии b_{ij} , которые осуществляют по формулам

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}; \quad (4.30)$$

$$b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{N}, \quad (4.31)$$

где x_{iu}, x_{ju}, x_{ku} – значения переменной в соответствующем столбце матрицы для планирования; $\bar{y}_u$ – среднее значение параметра оптимизации.

5. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПИВА И ВЫРАЩИВАНИЯ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ

Биохимические, физико-химические и микробиологические процессы, с которыми сталкивается инженер-биотехнолог в процессе своей деятельности, зависят от множества факторов. Для того чтобы правильно реагировать на изменение данных факторов, необходимо не только изучить их влияние на параметр, критерий оптимизации, но и представить такую зависимость в виде математической модели. В этом случае появляется возможность корректировать процесс с помощью автоматических систем управления.

Как правило, при получении хлебопекарных дрожжей критериями оптимизации являются выход биомассы и качество готового продукта, которые зависят от состава питательной среды, способа ее внесения в аппарат, температуры, аэрации, засева и т. п.

Производство пива – более сложный процесс. Он включает в себя следующие основные стадии: солодоращение, приготовление пивного сусла, охмеление сусла, сбраживание пивного сусла дрожжами, дображивание и созревание пива. Каждая из перечисленных стадий характеризуется своими критериями оптимизации, на которые влияют различные биохимические и физико-химические факторы.

5.1. Оптимизация процесса приготовления пивного сусла

На качество пивного сусла, о котором судят по выходу экстракта E , влияют качество солода, количество несоложенных материалов, способ затирания и т. д.

Рассмотрим пример, в котором варьируемыми факторами являются концентрации трех ферментов: амила субтилина ГИОХ (X_1), амилоризина ПХ (X_2) и цитроземина ПХ (X_3).

Согласно схеме, приведенной в подразд. 4.5.1, выполняют следующие расчеты.

1. На основании ранее выполненных исследований выбирают основной фон изучаемых факторов: $X_{10} = 0,04 \%$; $X_{20} = 1,0 \%$; $X_{30} = 1,5$.

Интервалы варьирования для каждого фактора соответственно составляют: $\lambda_1 = 0,02 \%$; $\lambda_2 = 0,5 \%$; $\lambda_3 = 0,5 \%$.

2. Находят верхний и нижний уровни изучаемых факторов, %:

$$X_1^+ = 0,04 + 0,02 = 0,06;$$

$$X_1^- = 0,04 - 0,02 = 0,02;$$

$$X_2^+ = 1,0 + 0,5 = 1,5;$$

$$X_2^- = 1,0 - 0,5 = 0,5;$$

$$X_3^+ = 1,5 + 0,5 = 2,0;$$

$$X_3^- = 1,5 - 0,5 = 1,0,$$

или в кодированных единицах:

$$x_1^+ = \frac{0,06 - 0,04}{0,02} = +1;$$

$$x_1^- = \frac{0,02 - 0,04}{0,02} = -1;$$

$$x_2^+ = \frac{1,5 - 1,0}{0,5} = +1;$$

$$x_2^- = \frac{0,5 - 1,0}{0,5} = -1;$$

$$x_3^+ = \frac{2,0 - 1,5}{0,5} = +1;$$

$$x_3^- = \frac{1,0 - 1,5}{0,5} = -1.$$

3. Определяют количество вариантов опытов, необходимое для получения линейного уравнения:

$$N > n + 2 > 3 + 2 > 5.$$

На основании приведенного выше уравнения выбирают ортогональную матрицу (см. табл. 4.2). Общий вид уравнения регрессии при реализации данного опыта:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3. \quad (5.1)$$

Результаты опытов приведены в табл. 5.1, в которой также даны средние значения выхода экстракта $\bar{y}$ каждого из вариантов сред в трех опытах.

Таблица 5.1

План опыта в натуральных и кодированных единицах значений факторов

u	Натуральные значения факторов, %			Значения факторов в кодированных единицах			Выход экстракта E , %			
	X_1	X_2	X_3	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}_u$
1	0,02	0,5	1,0	–	–	–	76,3	78,0	77,9	77,4
2	0,06	0,5	1,0	+	–	–	77,8	78,0	79,4	78,4
3	0,02	1,5	1,0	–	+	–	80,4	81,8	81,1	81,1
4	0,06	1,5	1,0	+	+	–	81,4	82,8	83,6	82,6
5	0,02	0,5	2,0	–	–	+	79,1	78,6	78,7	78,8
6	0,06	0,5	2,0	+	–	+	78,5	79,0	78,9	78,8
7	0,02	1,5	2,0	–	+	+	80,7	80,3	80,5	80,5
8	0,06	1,5	2,0	+	+	+	80,4	80,9	80,8	80,7

4. По средним значениям y рассчитывают коэффициенты регрессии:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} \bar{y}_u}{N} = \frac{77,4 + 78,4 + 81,1 + 82,6 + 78,8 + 80,5 + 80,7}{8} = 79,8;$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} x_{iu} \bar{y}_u}{N} =$$

$$= \frac{-1 \cdot 77,4 + (+1)78,4 + (-1)81,1 + (+1)82,6 + (-1)78,8}{8} +$$

$$+ \frac{(+1)78,8 + (-1)80,5 + (+1)80,7}{8} = 0.$$

Аналогично находят b_2 и b_3 : $b_2 = 1,4$; $b_3 = -0,1$.

5. Определяют значимость коэффициентов регрессии. Для этого по табл. 5.2 определяют построчные дисперсии.

Таблица 5.2

Определение построчных дисперсий

u	y_{ul}			$\sum y_{ul}^2$	$\sum y_{ul}^2$	$\frac{\sum y_{ul}^2}{m}$	$S_{y_{ul}}^2$
1	76,3	78,0	77,9	$76,3^2 + 78^2 + 77,9^2 =$ $= 17974,1$	$(76,3 + 78 + 77,9)^2 =$ $= 53916,8$	17972,3	0,9
2	77,8	78,0	79,4	18441,2	55319,0	18439,6	0,8
3	80,4	81,8	81,8	19732,6	59194,9	19731,6	0,5
4	81,4	82,8	83,6	20470,8	61404,8	20468,3	1,3
5	79,1	78,6	78,7	18628,5	55885,0	18628,3	0,1
6	78,5	79,0	78,9	18268,5	55885,0	18628,3	0,1
7	80,7	80,3	80,5	19440,9	58322,3	19440,8	0,1
8	80,4	80,9	80,8	19537,6	58612,4	19537,5	0,1

Построчные дисперсии рассчитывают на основании приведенной ранее формулы (4.17).

Затем определяют дисперсию единичного значения по формулам (4.18) и (4.19):

$$S_{b_i}^2 = \frac{3,9}{3 \cdot 8^2} = 0,2; \quad S_{b_i} = \sqrt{0,02} = 0,14;$$

$$m = 3, \quad N = 8.$$

Затем находят ошибку определения:

$$t S_{b_i} = 2,12 \cdot 0,14 = 0,3.$$

По прил. 2 определяют $t_{0,95}$: для числа степеней свободы $f = (m - 1) N = (3 - 1) 8 = 16$ и уровня значимости 0,05 $t = 2,12$.

Следовательно, значимыми будут коэффициенты регрессии $b_i > 0,3$.

Таким образом, в изучаемой области значимы b_1 и b_2 , поэтому уравнение регрессии примет вид:

$$y = 79,8 + 0,3x_1 + 1,4x_2. \quad (5.2)$$

6. Далее определяют адекватность уравнения линейного приближения. Для этого по уравнению (5.2) рассчитывают выход экстракта y для каждого варианта. Значения уровней факторов (x_1 , x_2 и x_3) берут из матрицы (см. табл. 5.1). Результаты приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Определение квадрата отклонений средних значений, полученных в опыте и определенных по уравнению линейного приближения

u	y_{ul}	$\bar{y}_u$	$\bar{y}_u - y_u$	$\bar{y}_u - y_u^2$ *
1	$79,8 - 0,3 - 1,4 = 78,1$	77,4	-0,7	0,49
2	$79,8 + 0,3 - 1,4 = 78,8$	78,4	-0,3	0,09
3	$79,8 - 0,3 + 1,4 = 80,3$	81,1	0,2	0,04
4	$79,8 + 0,63 + 1,4 = 81,5$	82,6	1,1	1,21
5	$79,8 - 0,3 - 1,4 = 78,1$	78,8	0,7	0,49
6	$79,8 + 1 - 0,3 - 1,4 = 78,7$	78,8	0,1	0,01
7	$79,8 - 0,3 + 1,4 = 80,9$	80,5	-0,4	0,16
8	$79,8 + 0,3 + 1,4 = 81,5$	80,7	-0,8	0,64

* Сумма квадратов отклонений средних значений $\sum = 3,13$.

Отсюда находят дисперсию адекватности:

$$S_{ад}^2 = \frac{3,13}{8-3} = 0,63.$$

Зная дисперсию воспроизводимости $S_{\bar{y}}^2$ данных, рассчитывают критерий Фишера:

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{\sum S_{y_{ul}}^2}{mN} = \frac{3,9}{8 \cdot 3} = 0,16;$$

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{\bar{y}}^2} = \frac{0,63}{0,16} = 3,9.$$

Табличное значение критерия Фишера находят по прил. 3 при числе степеней свободы дисперсии адекватности $f_{ад} = N - N' = 8 - 3 = 5$ и числе степеней свободы дисперсии воспроизводимости результатов $f = (m - 1) N = (3 - 1) 8 = 16 \rightarrow F_T = 2,9$.

Итак, $F_p > F_T$, следовательно, во-первых, можно сделать вывод о том, что используемое уравнение неадекватно, т. е. данный процесс не может быть описан уравнением линейного приближения; во-вторых, полученные результаты говорят о близости процесса к около-оптимальной области, когда усиливается влияние взаимодействия факторов. Поэтому для решения поставленной задачи следует использовать матрицы планирования для описания процесса неполным квадратичным уравнением (4.29).

5.2. Оптимизация питательной среды культивирования пекарских дрожжей

Выход биомассы пекарских дрожжей определяется целым рядом факторов, среди которых первостепенное значение имеют концентрация солей азота и фосфора в среде культивирования и уровень биотина, который является стимулятором роста дрожжей.

Рассмотрим зависимость выхода биомассы от концентрации сульфата аммония X_1 , диаммонийфосфата X_2 и биотина X_3 в питательной среде при выращивании сахаромикетов.

Принимаем нижеприведенную очередность операций.

1. На основании ранее выполненных исследований в качестве основного фона (нулевого уровня) выбираем следующие концентрации изучаемых факторов: $X_{10} = 400$ мг/л; $X_{20} = 30$ мг/л; $X_{30} = 1$ мкг/л. Интервалы варьирования для каждого фактора соответственно равны: $\lambda_1 = 200$ мг/л; $\lambda_2 = 20$ мг/л; $\lambda_3 = 1$ мкг/л;

2. Находим верхний и нижний уровни изучаемых факторов, мг/л:

$$X_1^+ = 400 + 200 = 600;$$

$$X_1^- = 400 - 200 = 200;$$

$$X_2^+ = 30 + 20 = 50;$$

$$X_2^- = 30 - 20 = 10;$$

$$X_3^+ = 1 + 1 = 2;$$

$$X_3^- = 1 - 1 = 0$$

или в кодированных единицах:

$$x_1^+ = \frac{X_1^+ - X_{10}}{\lambda_1} = \frac{600 - 400}{200} = +1;$$

$$x_1^- = \frac{200 - 400}{200} = -1;$$

$$x_2^+ = \frac{50 - 30}{20} = +1;$$

$$x_2^- = \frac{10 - 30}{20} = -1;$$

$$x_3^+ = \frac{2 - 1}{1} = +1;$$

$$x_3^- = \frac{0 - 1}{1} = -1.$$

3. Определяем количество вариантов опытов, необходимое для выявления влияния на процесс не только каждого фактора в отдельности, но и факторов взаимодействия. Это число вариантов: $N = 2^n - 2^3 = 8$.

В табл. 4.6 приведена полная матрица планирования ПФЭ 2^3 . В данной матрице графы x_1x_2 , x_1x_3 , x_2x_3 и x_1 , x_2 , x_3 имеют вспомогательное значение при расчете коэффициентов регрессии b_{12} , b_{13} , b_{23} и b_{123} .

Уравнение регрессии, получаемое в результате использования ПФЭ 2^3 , имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (5.3)$$

В табл. 5.4 приведен план опыта в натуральных значениях факторов и в кодированных единицах. В этой же таблице даны вспомогательные графы, необходимые для расчета коэффициентов регрессии b_{ijk} . Также приведены результаты опытов y_u и средние значения выхода биомассы $\bar{y}_u$ каждого из восьми вариантов сред в трех опытах.

Таблица 5.4

План опыта и результаты, полученные при его реализации

u	Натуральные значения факторов			Факторы в кодированных единицах			Вспомогательные графы в матрице ПФЭ 2^3				Результаты ПФЭ 2^3 (выход биомассы), %			
	мг/л		мкг/л											
	X_1	X_2	X_3	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_2 x_3$	$x_1 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_{ul}			$\bar{y}_u$
1	200	10	0	–	–	–	+	+	+	–	47	53	50	50
2	600	10	0	+	–	–	–	+	–	+	42	49	44	45
3	200	50	0	–	+	–	–	–	+	+	43	36	41	40
4	600	50	0	+	+	–	+	–	–	–	78	71	61	70
5	200	10	2	–	–	+	+	–	–	+	76	84	80	80
6	600	10	2	+	–	+	–	–	+	–	76	80	69	75
7	200	50	2	–	+	+	–	+	–	–	69	58	65	64
8	600	50	2	+	+	+	+	+	+	+	82	79	94	85

4. По средним значениям $\bar{y}_u$ [см. формулы (4.15) и (4.16)] рассчитываем коэффициенты регрессии:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} \bar{y}_u}{N} = \frac{50 + 45 + 40 + 70 + 80 + 75 + 64 + 85}{8} = \frac{509}{8} = 64;$$

$$b_1 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} x_{1u} \bar{y}_u}{N} = \frac{(-1) + 50 + (+1)45 + (-1)40 + (+1)70 + (-1)80}{8} + \frac{(+1)75 + (-1)64 + (+1)85}{8} = \frac{+41}{8} = 5;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} x_{2u} \bar{y}_u}{N} = \frac{-50 - 45 + 40 + 70 - 80 - 75 + 64 + 85}{8} = \frac{9}{8} = 1;$$

$$b_3 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} x_{3u} \bar{y}_u}{N} = \frac{-50 - 45 - 40 - 70 + 80 + 75 + 64 + 85}{8} = \frac{99}{8} = 12.$$

Коэффициенты регрессии взаимодействий определяем по формулам (4.30) и (4.31):

$$b_{12} = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} x_1 x_2 \bar{y}_u}{N} = \frac{y_1 - y_2 - y_3 + y_4 + y_5 - y_6 - y_7 + y_8}{N} =$$

$$= \frac{50 - 45 - 40 + 70 + 80 - 75 - 64 + 85}{8} = 8.$$

Аналогично рассчитываем $b_{23} = -3$, $b_{13} = -1$, $b_{123} = -1$.

5. Для определения значимости коэффициентов регрессии проводим статистический анализ. Для этого удобно пользоваться табл. 5.5.

Таблица 5.5

Определение построчных дисперсий

u	y_{ul}			$\bar{y}_u$	$\sum (y_{ul})^2$	$\sum (y_{ul})$	$(\sum y_{ul})^2$	$S_{y_{ul}}^2$ *
1	47	53	50	50	$47^2 + 53^2 + 50^2 = 7518$	$47 + 53 + 50 = 150$	22 500	9
2	42	49	44	45	$42^2 + 49^2 + 44^2 = 6101$	$42 + 49 + 44 = 135$	18 225	12
3	43	36	41	40	$43^2 + 36^2 + 41^2 = 4826$	$43 + 36 + 41 = 120$	14 400	13
4	78	71	61	70	$78^2 + 71^2 + 61^2 = 14 846$	$78 + 71 + 61 = 210$	44 100	73
5	76	84	80	80	$76^2 + 84^2 + 80^2 = 19 232$	$76 + 84 + 80 = 240$	57 600	16
6	76	80	69	75	$76^2 + 80^2 + 69^2 = 16 973$	$76 + 80 + 69 = 225$	50 625	31
7	69	58	65	64	$69^2 + 58^2 + 65^2 = 12 350$	$69 + 58 + 65 = 192$	36 864	31
8	82	79	94	85	$82^2 + 79^2 + 94^2 = 20 801$	$82 + 79 + 94 = 255$	65 025	62

* Сумма построчных дисперсий $\sum = 247$.

В результате получим:

$$S_{b_i}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} S_{y_{ul}}^2}{mN^2} = \frac{247}{3 \cdot 8^2} = 1,29;$$

$$S_{b_i} = \sqrt{1,29} = 1,14.$$

Затем по формуле (4.22) устанавливаем ошибку определения b_i .

Значение коэффициента Стьюдента следует взять из прил. 2 для члена степеней свободы $f = (m-1)N = (3-1)8 = 16$ и уровня значимости $5 \rightarrow t = 2,12$. Следовательно, коэффициент b_{ijk} можно считать значимым, если выполняется следующее неравенство: $|b_{ijk}| > tS_{b_i} > 2,12 \cdot 1,14 > 2,4$.

Таким образом, все коэффициенты регрессии, кроме b_2, b_{13}, b_{123} , значимы и уравнение имеет вид:

$$y = 64 + 5x_1 + 12x_3 + 8x_1x_2 - 3x_2x_3. \quad (5.4)$$

6. Проверяем, адекватно ли уравнение (5.4) уравнению линейного приближения. Для этого сначала по уравнению (5.4) находим значение выхода y для каждого варианта. В каждом варианте значения уровней факторов x_1, x_2, x_3 берем из матрицы (см. табл. 4.4). Таким образом, можно определить $(\bar{y} - y)^2$ – табл. 5.6.

Таблица 5.6

**Определение квадрата отклонений средних значений,
полученных в опыте и рассчитанных по уравнению (5.4)**

y_u	$\bar{y}_u$	$\bar{y} - y$	$(\bar{y} - y)^2$ *
$y_1 = 64 - 5 - 12 + 8 - 3 = 52$	50	(-2)	4
$y_2 = 64 + 5 - 12 - 8 - 3 = 46$	45	(-1)	1
$y_3 = 64 - 5 - 12 - 8 + 3 = 42$	40	(-2)	4
$y_4 = 64 + 5 - 12 + 8 + 3 = 68$	70	2	4
$y_5 = 64 - 5 + 12 + 8 + 3 = 82$	80	(-2)	4
$y_6 = 64 + 5 + 12 - 8 + 3 = 76$	75	(-1)	1
$y_7 = 64 - 5 + 12 - 8 - 3 = 60$	64	4	16
$y_8 = 64 + 5 + 12 + 8 - 3 = 86$	85	(-1)	1

* Сумма квадрата отклонений средних значений $\sum = 35$.

Отсюда находим дисперсию адекватности

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} (\bar{y} - y)^2}{N - N'} = \frac{35}{8 - 5} = 11,7$$

и рассчитываем критерий Фишера

$$F_p = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\bar{y}}^2} = \frac{11,7}{10,3} = 1,1,$$

где

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N=8} S_{y_{ul}}^2}{Nm} = \frac{247}{8 \cdot 3} = 10,3.$$

Табличное значение критерия Фишера находим по прил. 3 при числе степеней свободы дисперсии адекватности $f_{\text{ад}} = N - N' = 8 - 5 = 3$ и числе степеней свободы дисперсии воспроизводимости результатов $S_{\bar{y}}^2$:

$$f = (m - 1)N = (3 - 1)8 = 16 \rightarrow F_T = 3,2.$$

Поскольку $F_T > F_p$, уравнение (5.4) адекватно изучаемому процессу.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что на выход биомассы в изучаемой области концентраций положительно влияет увеличение концентрации сульфата аммония и биотина в среде культивирования. В то же время эффект от данных факторов усиливается от совместного действия факторов x_1 и x_2 (концентраций сульфата аммония и диаммонийфосфата) при условии, что эти факторы будут находиться на высшем уровне кодирования ($x_1 = +1$ и $x_2 = +1$).

Что касается совместного действия факторов x_2 и x_3 , то эффект будет максимальным, если концентрации биотина и диаммонийфосфата будут также находиться на высшем уровне. Именно в этих условиях выход будет составлять $y_{\text{max}} = 64 + 5 + 12 + 8 - 3 = 86 \%$.

6. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КРУТОГО ВОСХОЖДЕНИЯ

В результате постановки экспериментов по плану, приведенному в табл. 6.1, варьируют состав среды. Изменяют концентрацию крахмала X_1 , сернокислого аммония X_2 , кукурузного экстракта X_3 и соевой муки X_4 . На основании проведенных исследований и математической обработки полученных данных составляют линейное уравнение регрессии:

$$y = 6603 + 283x_1 + 30x_2 + 515x_4.$$

Доверительный интервал составляет 98, следовательно, все коэффициенты регрессии, кроме b_2 ($b_2 = 30$), значимы.

При определении адекватности вышеприведенного уравнения оказалось, что $F_T > F_p$, т. е. линейное приближение адекватно и поэтому можно переходить к расчету программы крутого восхождения.

Таблица 6.1

План опыта для четырех факторов на двух уровнях

u	Натуральные значения факторов, %				Значения факторов в кодированных единицах			
	X_1	X_2	X_3	X_4	x_1	x_2	x_3	x_4
1	5,3	0,5	0,6	1,7	—	—	—	—
2	6,7	0,5	0,6	2,3	+	—	—	+
3	5,3	0,7	0,6	2,3	—	+	—	+
4	6,7	0,7	0,6	1,7	+	+	—	—
5	5,3	0,5	0,9	2,3	—	—	+	+
6	6,7	0,5	0,9	1,7	+	—	+	—
7	5,3	0,7	0,9	1,7	—	+	+	—
8	6,7	0,7	0,9	2,3	+	+	+	+

Исходные данные для осуществления указанной программы приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Исходные данные для составления программы крутого восхождения

Показатель	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной уровень («фон») x_0	6,0	0,6	0,75	2,0
Интервал варьирования λ_i	0,7	0,1	0,15	0,3
Коэффициент регрессии b_i	+283	+30	+222	+515
Максимальный уровень $x_{i \max}$	10,0	2,0	2,0	5,0
Минимальный уровень $x_{i \min}$	0,0	0,0	0,0	0,0

Далее расчет ведут следующим образом:

а) определяют произведение $b_i \lambda_i$:

$$b_1 \lambda_1 = +283 \cdot 0,7 = +198;$$

$$b_2 \lambda_2 = +30 \cdot 0,1 = +3;$$

$$b_3 \lambda_3 = +222 \cdot 0,15 = +33;$$

$$b_4 \lambda_4 = +515 \cdot 0,3 = +155;$$

б) для нахождения запаса Δ по каждому фактору находят разницу между максимальным значением данного фактора и основным уровнем. Если бы коэффициенты регрессии были отрицательными, то $\Delta = x_{i \min} - x_0$:

$$\Delta_1 = 10,0 - 6,0 = 4,0 \text{ \%};$$

$$\Delta_2 = 2,0 - 0,6 = 1,4 \text{ \%};$$

$$\Delta_3 = 2,0 - 0,75 = 1,25 \text{ \%};$$

$$\Delta_4 = 5,0 - 2,0 = 3,0 \text{ \%};$$

в) находят абсолютные значения отношений $\Delta_i / b_i \lambda_i$:

$$\frac{\Delta_1}{b_1 \lambda_1} = \frac{4}{198} = 0,020;$$

$$\frac{\Delta_2}{b_2 \lambda_2} = \frac{1,4}{3} = 0,500;$$

$$\frac{\Delta_3}{b_3 \lambda_3} = \frac{1,25}{33} = 0,033;$$

$$\frac{\Delta_4}{b_4 \lambda_4} = \frac{3,0}{155} = 0,019.$$

Поскольку наименьшим оказалось отношение $S = \Delta_4 / b_4 \lambda_4$ для соевой муки, этот фактор выбирают в качестве базового при крутом восхождении. Шаг для фактора X_4 принимают равным 0,5 %, тогда шаги для других факторов соответственно:

$$S_i = S \frac{b_i \lambda_i}{b \lambda};$$

$$S_1 = 0,5 \frac{198}{155} = 0,64 (0,6 \%); \quad S_3 = 0,5 \frac{33}{155} = 0,11 (0,1 \%).$$

Для незначимого фактора X_3 шаг при крутом восхождении равен нулю;

г) намечают программу крутого восхождения из пяти вариантов (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Программа крутого восхождения

u	$X_1, \%$	$X_2, \%$	$X_3, \%$	$X_4, \%$
1	$6,0 + 0,6 = 6,6$	0,6	$0,75 + 0,11 = 0,86$	$2,0 + 0,5 = 2,5$
2	$6,6 + 0,6 = 7,2$	0,6	$0,86 + 0,11 = 0,97$	$2,5 + 0,5 = 3,0$
3	$7,2 + 0,6 = 7,8$	0,6	$0,97 + 0,11 = 1,08$	$3,0 + 0,5 = 3,5$
4	$7,8 + 0,6 = 8,4$	0,6	$1,08 + 0,11 = 1,19$	$3,5 + 0,5 = 4,0$
5	$8,4 + 0,6 = 9,0$	0,6	$1,19 + 0,11 = 1,30$	$4,0 + 0,5 = 4,5$

После постановки опытов по этой программе за нулевой уровень принимают оптимальную по составу среду и вновь ставят серию экспериментов по ортогональной матрице.

7. НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Нахождение уравнения регрессии и на его основе – оптимальных параметров процессов целесообразнее всего проводить на ЭВМ. Для этого можно воспользоваться широко распространенной программой Excel, входящей в состав пакета программ Microsoft Office.

Перед проведением экспериментов необходимо установить минимально и максимально возможные изменения переменных параметров процесса. Далее проводят эксперименты при установленных максимальных и минимальных значениях параметров с некоторой повторяемостью для большей точности определения оптимальных параметров. Кроме того, целесообразно провести эксперименты при средних значениях переменных параметров.

Открыв программу Excel, необходимо ввести результаты измерений отдельными столбцами для каждого параметра и функцию y . Например, для получения уравнения регрессии вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2 \quad (7.1)$$

необходимо установить значения параметра X_1 в ячейках столбца A , параметра X_2 – в ячейке столбца B , параметра X_3 – в ячейке столбца C , параметра X_1^2 – в ячейке столбца D , параметра X_2^2 – в ячейке столбца E , параметра X_1X_2 – в столбце F , значения функции y – в ячейке столбца G . Затем в меню открыть окно «Сервис» и далее – окно «Анализ данных». При этом откроется окно «Инструменты анализа». В последнем найти и выделить мышкой строку «Регрессия» и ввести кнопкой «ОК», откроется окно «Регрессия». В данное окно необходимо ввести функцию y , обведя столбец мышкой (в нашем случае – столбец G). Далее необходимо ввести входной интервал x , обведя мышкой столбцы с параметрами (в нашем примере – столбцы A, B, C, D, E, F) одним движением по диагонали. Мышкой поставить галочки в графах «Остатки» и «Нормальная вероятность» и начать работу кнопкой «ОК».

На этом же или соседнем листе появятся результаты расчетов. Можно оценить точность полученного уравнения, используя коэффициент регрессии. При этом в графе «К-пересечение» приведен свободный член b_0 , далее в графах «Переменная x_1 » и так далее

приведены коэффициенты (b_1 , b_2 и т. д.) при соответствующих столбцах, обозначенных в таблице знаками x_1 , x_2 и т. д. Ниже, в разделе «Вывод: остатки» приводятся расчетные значения функции y , рассчитанные по полученному уравнению регрессии. Для нахождения оптимальной величины функции y (минимальной или максимальной) необходимо ввести в активное окно ранее полученное уравнение регрессии. При этом в качестве переменных параметров необходимо использовать ячейки $A1$, $B1$, $C1$ и т. д. Для параметра y используется следующая ячейка (в нашем примере – $D1$).

Например, уравнение

$$y = 23,5 + 4,5x_1 + 7,8x_2 + 8,2x_3 - 55x_1^2 + 75x_1x_2 \quad (7.2)$$

можно записать в виде

$$D1 = 23,5 + 4,5 * A1 + 7,8 * C1 + 8,2 * C1 - 55 * A1^2 + 75 * A1 * B1. \quad (7.3)$$

В уравнении (7.3) в качестве параметра y используют ячейку $D1$. В качестве переменного параметра X_1 используют ячейку $A1$, параметра X_2 – $B1$, параметра X_3 – $C1$.

В главном меню «Сервис» открыть окно «Поиск решения», установить курсор в окне «Установить целевую» и выделить ячейку, в которую введено ранее полученное уравнение регрессии (в нашем примере – $D1$). Установить курсор в окне «Изменяя ячейки» и выделить ячейки переменных параметров (в нашем случае – $A1$, $B1$, $C1$).

Установить точку в окне «Равная максимальному значению», «Равная минимальному значению», «Равная значению 0» или другой величине. Далее в окне «Ограничения» необходимо ввести предельные значения переменных параметров (в нашем случае – $A1$, $B1$, $C1$), используя кнопку «Добавить», открывшую окно «Добавление ограничения». При этом вводят ограничения знаками $\leq$, $=$, $\geq$. Каждое ограничение вводят по отдельности кнопкой «ОК». Затем начинают выполнять расчеты нажатием кнопки «Выполнить».

В конце расчетов появится окно «Результаты поиска решения»; если решение успешно, то появится надпись «Решение найдено. Все ограничения и условия оптимизации выполнены». При этом в ячейках переменных параметров появятся оптимальные величины (в нашем примере – в ячейках $A1$, $B1$, $C1$), а в ячейке для функции – ее оптимальная величина (в нашем примере – в ячейке $D1$).

При отсутствии оптимальной величины или ошибках ввода возникает надпись «Поиск не может найти подходящего решения». Тогда необходимо найти и исправить ошибки и повторить расчеты.

В дальнейшем целесообразно провести некоторое число экспериментов вблизи точки, определенной в качестве оптимума переменных параметров и повторить расчеты для определения более точного значения оптимальных параметров.

7.1. Пример оптимизации процесса приготовления пивного сусла

Одним из параметров, определяющих экономичность производства пива, является выход экстракта из затираемой массы. Данный параметр в большой степени зависит от марки применяемых ферментных препаратов, их массовой доли и массы используемых зернопродуктов.

В качестве примера рассмотрим применение трех ферментных препаратов: амила субтилина ГИОХ (обозначим его X_1), амила ризина ПХ (обозначим его X_2) и цитороземина ПХ (обозначим его X_3).

На основе ранее выполненных экспериментов выбираем основной фон изучаемых факторов: $X_{10} = 0,04 \%$; $X_{20} = 1,0 \%$; $X_{30} = 1,5 \%$. Выбираем интервалы варьирования переменных факторов (наибольшие допустимые погрешности параметров): $\Delta_1 = 0,02 \%$; $\Delta_2 = 0,5 \%$; $\Delta_3 = 0,02 \%$.

Находим верхний и нижний уровни исследуемых факторов, %:

$$X_1^+ = 0,04 + 0,02 = 0,06;$$

$$X_1^- = 0,04 - 0,02 = 0,02;$$

$$X_2^+ = 1,0 + 0,5 = 1,5;$$

$$X_2^- = 1,0 - 0,5 = 0,5;$$

$$X_3^+ = 1,5 + 0,5 = 2,0;$$

$$X_3^- = 1,5 - 0,5 = 1,0.$$

Далее составляем план опытов, в котором предусматриваем проведение экспериментов в различных вариантах при предельных

значениях переменных параметров. Для получения более достоверных результатов каждый опыт повторяем несколько раз (в нашем случае – трехкратно). Результаты опытов заносим в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Матрица экспериментальных данных

u	Натуральные значения факторов, %			Выход экстракта, %			
	X_1	X_2	X_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}_u$
1	0,02	0,5	1	76,3	78,0	77,9	77,4
2	0,06	0,5	1	77,8	78,0	79,4	78,4
3	0,02	1,5	1	80,4	81,2	81,1	81,1
4	0,06	1,5	1	81,4	82,8	83,6	82,6
5	0,02	0,5	2	79,1	78,6	78,7	78,8
6	0,06	0,5	2	78,5	79,0	78,9	78,8
7	0,02	1,5	2	80,7	80,3	80,5	80,5
8	0,06	1,5	2	80,4	80,9	80,8	80,7

Открываем программу Microsoft Excel и переносим в таблицу программы значения переменных параметров x_1 , x_2 , x_3 , а также среднюю величину функции $\bar{y}_u$. При этом в столбец A вводим данные параметра x_1 , в столбец B – параметра x_2 , в столбец C – параметра x_3 в столбец D – функцию $\bar{y}_u$.

Выбираем вид уравнения регрессии, которое хотим получить при реализации данного плана опытов:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3. \quad (7.4)$$

Проводим все манипуляции, описанные выше.

На основе расчетов получим уравнение регрессии:

$$y = 76,5 + 16,875x_1 + 2,875x_2 - 0,175x_3. \quad (7.5)$$

При этом коэффициент множественной регрессии равен 0,923 и параметр $R^2 = 0,852$. Величина множественной регрессии показывает достаточно хорошую сходимость (максимальная величина множественной регрессии равна единице).

Для нахождения величин переменных параметров, обеспечивающих максимальный выход экстракта, вводим уравнение регрессии в ячейку D1, зарезервировав ячейку A1 для параметра x_1 , ячейку B1 – для параметра x_2 и ячейку C1 – для параметра x_3 . Уравнение регрессии для ввода в Excel имеет следующий вид:

$$D1 = 76,5 + 16,875 * A1 + 2,875 * B1 - 0,175 * C1. \quad (7.6)$$

Далее в ячейках A1, B1, C1 вводятся минимальные значения параметров x_1, x_2, x_3 .

В главном меню «Сервис» открываем окно «Поиск решения» и производим манипуляции, описанные ранее.

В результате расчетов в таблице появятся данные переменных параметров, соответствующих получению максимального значения выхода экстракта. Для данного случая максимальные значения экстракта составляют: при расходе амилосубтилина ГИОХ (параметр X_1) – 0,06 %; амилоризина ПХ (параметр X_2) – 1,5 %; цитороземина ПХ (параметр X_3) – 1 %. При этом выход экстракта предполагается $y_{\max} = 82,56$ %.

Согласно расчету, минимальный выход экстракта $y_{\min} = 77,36$ % предполагается при расходе амилосубтилина ГИОХ (X_1) – 0,02 %; амилоризина ПХ (X_2) – 0,5 %; цитороземина ПХ (X_3) – 1 %.

7.2. Пример оптимизации использования питательной среды при культивировании пекарских дрожжей

Выход биомассы пекарских дрожжей определяется целым рядом факторов, среди которых первостепенное значение имеет массовая доля азота и фосфора в среде биотина, являющегося стимулятором роста дрожжей.

Рассмотрим зависимость выхода биомассы дрожжей от массы сахарозы, выраженной в процентах, от массовой доли сульфата аммония – X_1 , диаммонийфосфата – X_2 и биотина – X_3 в среде при выращивании сахаромикетов.

На основании ранее выполненных исследований в качестве основного фона выбираем следующие значения изучаемых параметров: $X_{10} = 400$ мг/л; $X_{20} = 30$ мг/л; $X_{30} = 1$ мг/л. Выбираем интервалы варьирования переменных факторов (наибольшие допустимые погрешности параметров): $\Delta_1 = 200$ мг/л; $\Delta_2 = 20$ мг/л; $\Delta_3 = 1$ мг/л.

Находим верхний и нижний уровни изучаемых факторов, мг/л:

$$X_1^+ = 400 + 200 = 600;$$

$$X_1^- = 400 - 200 = 200;$$

$$X_2^+ = 30 + 20 = 50;$$

$$X_2^- = 30 - 20 = 10;$$

$$X_3^+ = 1 + 1 = 2;$$

$$X_3^- = 1 - 1 = 0.$$

Составляем план опытов для проведения экспериментов, в котором предусматриваем проведение экспериментов в различных вариантах при предельных значениях переменных параметров. Для получения более достоверных результатов каждый опыт повторяем несколько раз (в нашем случае – трехкратно). Результаты заносим в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Матрица экспериментальных данных

u	Натуральные значения факторов, мг/л			Выход биомассы, %			
	X_1	X_2	X_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}_u$
1	200	10	0	47	53	50	50
2	600	10	0	42	49	44	45
3	200	50	0	43	36	41	40
4	600	50	0	78	71	61	70
5	200	10	2	76	84	80	80
6	600	10	2	76	80	69	75
7	200	50	2	69	58	65	64
8	600	50	2	82	79	94	85

Далее открываем программу Microsoft Excel и переносим в таблицу программы переменные параметры x_1 , x_2 , x_3 , а также среднюю величину функции $\bar{y}_u$. При этом в столбец A вводим данные параметра x_1 , в столбец B – параметра x_2 , в столбец C – параметра x_3 , в столбец D – параметра x_1x_2 , в столбец E – параметра x_1x_3 , в столбец F – параметра x_2x_3 , в столбец G – параметра $x_1x_2x_3$, в столбец H – функции $\bar{y}_u$.

Выбираем вид уравнения регрессии, которое хотим получить при реализации данного плана опытов:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (7.7)$$

На основании расчетов, проведенных в Excel, получим уравнение регрессии:

$$y = 59,375 - 0,0344x_1 - 0,688x_2 + 15,188x_3 + 0,00219x_1x_2 + 0,00281x_1x_3 - 0,0188x_2x_3 - 0,000281x_1x_2x_3. \quad (7.8)$$

При этом коэффициент множественной регрессии равен единице и параметр $R^2 = 1$. Величина множественной регрессии показывает хорошую сходимость (максимальная величина множественной регрессии равна единице).

Для нахождения оптимальных величин выхода биомассы в зависимости от массовой доли добавок вводим таблицу новой страницы программы Microsoft Excel; в ячейки *A1*, *B1*, *C1* – один из вариантов параметров (любой); в ячейку *D* – уравнение регрессии в виде

$$\begin{aligned} D1 = & 59,375 - 0,0344 * A1 - 0,688 * B1 + \\ & + 15,188 * C1 + 0,00219 * A1 * B1 + 0,00281 * A1 * C1 - \\ & - 0,0188 * B1 * C1 - 0,000281 * A1 * B1 * C1. \end{aligned} \quad (7.9)$$

В главном меню «Сервис» открываем окно «Поиск решения» и выполняем остальные операции, описанные ранее.

При правильном вводе всех необходимых параметров открывается окно «Результаты поиска решения», а в нем – надпись «Решение найдено. Все ограничения параметров и условия оптимизации выполнены».

В ячейках *A1*, *B1*, *C1* приведены соответствующие параметры x_1 , x_2 , x_3 , а в ячейке *D1* – $y_{\text{тах}}$.

Для сравнения можно определить минимальные значения параметров x_1 , x_2 , x_3 , а также $y_{\text{мин}}$.

На основании произведенных расчетов получим максимальный выход биомассы – 85 % при массовой доле в среде: сульфата аммония (X_1) – 600 мг/л, диаммонийфосфата (X_2) – 50 мг/л и биотина (X_3) – 2 мг/л.

Для сравнения аналогичным образом определяем минимальный выход биомассы – 45 % при массовой доле в среде: сульфата аммония (X_1) – 600 мг/л, диаммонийфосфата (X_2) – 10 мг/л и биотина (X_3) – 0 мг/л.

8. АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В процессе экспериментальных исследований получается статистический ряд аргумента $x_1, x_2, \dots, x_n$, который соответствует значению аргумента $y_1, y_2, \dots, y_n$.

На основе экспериментальных данных можно подобрать алгебраическое выражение функции

$$y = f(x), \quad (8.1)$$

которое называется эмпирической формулой. Такие формулы подбирают лишь в пределах измеренных значений аргумента $x_1 - x_n$ и они имеют тем большую ценность, чем больше соответствуют результатам эксперимента.

Эмпирические формулы должны быть по возможности наиболее простыми. Методы получения эмпирических формул называют *аппроксимацией*, а функции – *аппроксимирующими*.

Процесс аппроксимации состоит из двух этапов.

На первом этапе надо в определенном масштабе нанести на график экспериментальные точки, соединить их кривой и выбрать вид формулы.

На втором этапе необходимо вычислить параметры, которые наилучшим образом соответствовали бы принятой формуле.

Подбор экспериментальных формул следует начинать с самых простых выражений. Например, результаты измерений многих явлений и процессов аппроксимируются простейшими эмпирическими уравнениями.

При аппроксимации экспериментальных данных пользуются методом наименьших квадратов, обеспечивающим минимальное значение среднеквадратичного отклонения экспериментальных данных от расчетных. Формулы для расчетов параметров уравнений различных видов методом наименьших квадратов приведены в специальной литературе.

Более удобным и менее трудоемким является применение ЭВМ с использованием стандартных программ. Для аппроксимации экспериментальных данных удобно использовать программу Microsoft Excel. В случае однофакторного анализа, когда результаты анализа зависят от одного переменного параметра и применяются простые формулы, удобно использовать программу «Мастер диаграмм».

Для этого открываем программу Microsoft Excel, вводим в столбец *A* данные переменного параметра *x*, в столбец *B* – данные функции *y*. В главном меню открываем столбец «Вставка», в котором открываем строку «Диаграмма». При этом откроется окно «Мастер диаграмм (шаг 1 из 4): тип диаграммы». Удобнее всего выбрать тип диаграммы «Точечная». Вид точечной диаграммы, позволяющей сравнить пары значений, вводят, нажав кнопку «Далее». После этого открываем окно «Мастер диаграмм (шаг 2 из 4): источник данных». Устанавливаем диапазон данных, обведя мышкой цифры по диагонали. При этом откроется окно «Исходные данные», в котором появится график с указанием экспериментальных точек без соединения их линией. Перейдем в следующее окно нажатием кнопки «Далее».

Откроем окно «Мастер диаграмм (шаг 3 из 4): тип диаграммы». Нажав кнопку «Заголовки», введем название диаграммы, название оси *x* и название оси *y*; эти названия появятся на графике. Нажав кнопку «Оси», устанавливаем галочки в окнах «Ось *x* – основные линии» и «Ось *y* – основные линии». Нажав кнопку «Легенда», определим расположение легенды (названия линий на графике). Если на графике одна линия, легенду можно снять, убрав галочку. Нажав кнопку «Подписи данных», устанавливаем названия точек графика. Чаще всего ставят точку в окне «Нет». Нажимаем кнопку «Готово», после чего исчезнут окна, в таблице останется график.

Открываем столбец в главном меню «Диаграмма», строку «Добавить линию тренда». При этом откроется окно «Линия тренда», в котором выбираем и выделяем вид уравнения (линейное, логарифмическое, степенное, экспоненциальное, полиномиальное, скользящее среднее). Нажав на точку «Параметры», устанавливаем галочки в окнах «Показать уравнение на диаграмме» и «Поместить на диаграмме величину достоверности аппроксимации» и вводим их кнопкой «ОК». При этом будет рассчитано уравнение аппроксимации, приведено уравнение на графике, показаны величина R^2 и линия графика на основании полученной формулы. Максимально возможное значение величины $R^2 = 1$.

В случае недостаточной достоверности аппроксимации можно задаться другим видом уравнения и повторить расчеты. Таким образом, можно подобрать уравнение, обеспечивающее наибольшую достоверность.

Пример. Подобрать эмпирическую формулу измерений, приведенных в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Результаты измерений

Переменный параметр	Результат измерений	Переменный параметр	Результат измерений
1	12,1	5	40,5
2	19,2	6	46,4
3	25,9	7	54,0
4	33,3		

Открываем программу Microsoft Excel. Вводим таблицу исходных данных (результаты измерений – см. табл. 8.1). В столбец *A* вводим переменные параметры, а в столбец *B* – результаты измерений.

В главном меню выделяем столбец «Вставка», в котором открываем строку «Диаграмма», при этом откроется окно «Мастер диаграмм (шаг 1)...». Выделяем тип диаграммы – «Точечная», вводим кнопкой «Далее >» и «Готово». При этом в поле таблицы на компьютере появится график.

В главном меню открываем столбец «Диаграмма», в котором выделяем строку «Добавить линию тренда». При этом откроется окно «Линия тренда», в котором выделяем тип уравнения – «Линейное», нажав на кнопку «Параметры». Необходимо выделить строку «Автоматический», выделить галочками строки «Показать уравнение на диаграмме» и «Показать на диаграмме величину достоверности аппроксимации» и ввести нажатием кнопки «ОК».

На поле таблицы появятся график с уравнением и значение показателя степени достоверности R^2 :

$$y = 6,953x + 5,2429; \quad R^2 = 0,9995. \quad (8.2)$$

Если хотим сравнить описание с другими уравнениями, то, повторив указанные манипуляции и выделив тип уравнения «Логарифмическое», получим уравнение

$$y = 21,148\ln(x) + 7,3012; \quad R^2 = 0,9291. \quad (8.3)$$

Если выделим вид уравнения «Степенное», получим

$$y = 11,603x^{0,7715}; \quad R^2 = 0,9962. \quad (8.4)$$

Если выделим вид уравнения «Экспоненциальное», получим

$$y = 11,402e^{0,2392x}; \quad R^2 = 0,9534. \quad (8.5)$$

Если выделим вид уравнения «Полиномиальное 2-й степени», получим

$$y = -0,0226x^2 + 7,1345x + 4,914; \quad R^2 = 0,9995. \quad (8.6)$$

Если выделим вид уравнения «Полиномиальное 3-й степени», получим

$$y = 0,0228x^3 - 0,056x^2 + 7,2484x + 4,8714; \quad R^2 = 0,9995. \quad (8.7)$$

Если выделим вид уравнения «Полиномиальное 4-й степени», получим

$$y = 0,0201x^4 - 0,3184x^3 + 1,6792x^2 + 3,6462x + 7,1429; \\ R^2 = 0,9997. \quad (8.8)$$

Если выделим вид уравнения «Полиномиальное 5-й степени», получим

$$y = 0,0254x^5 - 0,4833x^4 + 3,4517x^3 - 11,029x^2 + 22,58x + 2,4429; \\ R^2 = 1. \quad (8.9)$$

Видно, что наиболее простое уравнение, которое даст достаточную достоверность, – линейное. Более высокую достоверность обеспечивают более сложные уравнения – полиномиальные.

При нахождении более сложных эмпирических уравнений целесообразно использовать метод нахождения уравнения регрессии, как об этом было сказано ранее. Так, уравнение вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2 \quad (8.10)$$

можно представить как уравнение, имеющее пять переменных факторов,

$$x_1, x_2, x_3, x_4 = x_1^2; \quad x_5 = x_2^2; \quad x_6 = x_1 x_2. \quad (8.11)$$

Тогда уравнение примет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_6 x_6. \quad (8.12)$$

Уравнение (8.12) можно назвать уравнением регрессии; оно может быть решено с использованием программы «Регрессия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бэмфорт К.У** Новое в пивоварении. – СПб.: Профессия, 2007.
2. **Данина М.М., Камышова Н.В.** Организация и проведение учебно-исследовательской работы: Метод. указания для студентов спец. 260204 всех форм обучения и направления бакалавриата 260100. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2011. – 19 с.
3. **Ермолаева Г.А.** Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия. – СПб.: Профессия, 2004.
4. **Матвеева И.В., Белявская И.Г.** Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий. – М.: Телер, 2004.
5. **Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т., Афонин Д.В.** Стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегустация. – СПб.: Профессия, 2011.
6. **Меледина Т.В., Радионова И.Е.** Сырье для производства пива: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004.
7. **Пакен П.** Функциональные напитки и напитки специального назначения. – СПб.: Профессия, 2010.
8. **Помозова В.А., Познякова В.М., Киселев Т.Ф.** Экспертиза напитков. Качество и безопасность. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1995.
9. **Пучкова Л.И., Поландова Р.Д., Матвеева И.В.** Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий. Ч. 1. – СПб.: ГИОРД, 2005.
10. **Федоренко Б.Н.** Пивоваренная инженерия. – СПб.: Профессия, 2009.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Критерии для исключения высказывающих значений

n	Уровень достоверности					
	95 %			99 %		
	отношения					
	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2}$	$\frac{X_n - X_{n-2}}{X_n - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2}$	$\frac{X_n - X_{n-2}}{X_n - X_1}$
	для оценки высказывающих наименьших вариант					
	$\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$	$\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_2}$	$\frac{X_3 - X_1}{X_n - X_2}$	$\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$	$\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$	$\frac{X_3 - X_1}{X_n - X_1}$
3	0,941	1,000	1,000	0,988	1,000	1,000
4	0,765	0,955	0,967	0,889	0,991	0,992
5	0,642	0,807	0,845	0,780	0,916	0,929
6	0,560	0,689	0,736	0,698	0,805	0,836
7	0,507	0,610	0,661	0,637	0,740	0,778
8	0,468	0,554	0,607	0,590	0,683	0,710
9	0,437	0,512	0,565	0,555	0,635	0,667
10	0,412	0,447	0,531	0,527	0,597	0,632
11	0,392	0,450	0,504	0,502	0,566	0,603
12	0,376	0,428	0,481	0,482	0,541	0,579
15	0,338	0,381	0,430	0,438	0,486	0,522
20	0,300	0,334	0,372	0,391	0,430	0,464
24	0,281	0,309	0,347	0,367	0,400	0,434
30	0,260	0,283	0,322	0,341	0,369	0,402

Приложение 2

Критерий Стьюдента для оценки значимости коэффициентов регрессии

f	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$	f	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$
1	12,71	63,66	9	2,26	3,25
2	4,30	9,93	10	2,23	3,17
3	3,18	5,84	11	2,20	3,11
4	2,78	4,60	12	2,18	3,06
5	2,57	4,03	13	2,15	2,98
6	2,45	3,71	14	2,12	2,92
7	2,37	3,50	15	2,10	2,88
8	2,31	3,36	16	2,09	2,85

Значения критерия Фишера для 5 %-го уровня значимости

f	$f_{ад}$								
	1	2	3	4	5	6	8	12	24
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,8	8,7	8,6
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	6,0	5,9	5,8
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,8	4,7	4,5
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,1	4,0	3,8
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6	3,4
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,4	3,3	3,1
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,2	3,1	2,9
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	3,1	2,9	2,7
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	3,0	2,8	2,6
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,8	2,6	2,4
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,6	2,5	2,3
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,6	2,4	2,2
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,6	2,4	2,2
24	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. НАКОПЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	4
1.1. Научные произведения и их особенности	4
1.2. Государственная система научно-технической информации	6
1.3. Работа с литературой	8
1.4. Патентная информация и ее особенности	10
1.5. Рекомендации по оформлению библиографического описания	12
1.6. Рекомендуемые научно-технические издания	15
1.7. Система технологической документации в пищевой промышленности.....	16
1.8. Виды технологических документов	17
2. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ И НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.....	21
2.1. Основы организации самостоятельной работы	21
2.1.1. Уровни самостоятельной работы.....	22
2.1.2. Виды самостоятельной работы	23
2.1.3. Элементы и виды деятельности при самостоятельной работе.....	24
2.2. Классификация и организация научно-исследовательской работы.....	25
2.2.1. Проблема, научное направление и тема НИР.....	25
2.2.2. Классификация и основные стадии НИР	26
2.2.3. Основные этапы выполнения НИР	27
2.2.4. Уровни внедрения результатов НИР	28
2.2.5. Общие требования к отчету по НИР.....	28
2.2.6. Основные стадии НИР	28

2.2.7. Организация экспериментального исследования.....	29
2.2.8. Выбор темы исследования.....	29
2.2.9. Выбор и описание методики эксперимента.....	30
2.2.10. Составление рабочего плана исследования и подготовка материальной базы для его проведения	31
2.2.11. Проведение исследования.....	32
2.2.12. Обработка результатов исследования	32
3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ	42
3.1. Ошибки эксперимента	42
3.2. Предварительная обработка результатов эксперимента.....	43
3.3. Среднеарифметическая величина. Среднеквадратичное отклонение	45
3.4. Оценка достоверности разницы между средними арифметическими величинами двух выборочных совокупностей.....	49
3.5. Определение количества опытов, необходимых для получения результатов с заданной степенью точности	51
3.6. Расчет относительной погрешности любого метода при количественном определении вещества.....	52
4. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	54
4.1. Анализ результатов экспериментов	54
4.2. Постановка задачи оптимизации	56
4.3. Общие приемы поиска оптимального значения критерия оптимизации	56
4.4. Способы решения задачи оптимизации.....	58
4.5. Метод Бокса	60
4.5.1. Схема планирования эксперимента.....	62
4.5.2. Метод крутого восхождения	71
4.5.3. Полный факторный эксперимент.....	72

5. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПИВА И ВЫРАЩИВАНИЯ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ.....	75
5.1. Оптимизация процесса приготовления пивного сусла	75
5.2. Оптимизация питательной среды культивирования пекарских дрожжей.....	80
6. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КРУТОГО ВОСХОЖДЕНИЯ	86
7. НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ.....	89
7.1. Пример оптимизации процесса приготовления пивного сусла	91
7.2. Пример оптимизации использования питательной среды при культивировании пекарских дрожжей.....	93
8. АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	97
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	103

Меледина Татьяна Викторовна
Данина Марина Максимовна

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Редактор
Т.В. Белянкина

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

Подписано в печать 15.04.2015. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 6,51. Печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 6,75
Тираж 120 экз. Заказ № С 9

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
Издательско-информационный комплекс
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

