

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические рекомендации
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
для студентов направления подготовки
19.04.01 Биотехнология
Направленность (профиль): ««Биотехнология производства продукции из
растительного сырья, виноделия и бродильных производств»»

Тема 4: КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Лабораторные занятия 1 – 2 (8 час.)

Определение точности и надежности измерений

Процесс измерения всегда представляет собой сравнение измеряемой величины с эталоном. Эталоном является некоторая другая величина (такой же размерности), принимаемая за единицу измерения.

Сравнение редко осуществляется непосредственным наложением эталона на исследуемый объект, чаще используется какой-либо прибор.

Измерение физической величины не может быть выполнено абсолютно точно. Любое измерение дает приближенный результат, иначе говоря, содержит погрешность измерения.

Погрешностью измерения называется разность между истинным значением измеряемой величины X и результатом измерения x_i .

$$\Delta x = X - x_i. \quad (1)$$

Абсолютная точность – понятие идеальное, а в реальных технических изделиях на их функционирование влияет слишком большое число всевозможных факторов, и интерес, как правило, представляет не точное значение, а диапазон изменения значения измеряемой величины.

Таким образом, технические науки довольствуются приближенными результатами измерения. Но при этом необходимо знать величину погрешности результата измерения. Выражение (1) нельзя использовать для расчета погрешности, т. к. сама измеряемая величина X нам неизвестна. Погрешность результата зависит от используемого измерительного прибора и условий проведения измерений.

Прежде чем приступить к изложению конкретных методик, следует разделить всевозможные измерения на прямые и косвенные.

При прямых измерениях определяемая величина сравнивается с единицей измерения непосредственно с помощью измерительного прибора, который имеет шкалу, проградуированную в соответствующих единицах измерения.

Значение физической величины считывается по шкале прибора. Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

1.1. Прямые измерения

Погрешности прямых измерений целесообразно разделить на систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности, или поправки

Систематические погрешности вызываются факторами, действующими либо одинаковым образом при повторных измерениях, либо изменяющимися по определенному закону.

Систематические погрешности возникают из-за неправильного выбора метода измерения, неправильной установки прибора и т. п.

Систематическими являются ошибки при округлении математических и физических констант (например, таких, как число π , гравитационная постоянная, элементарный заряд и т. п.). Как правило, источники систематических погрешностей тщательно анализируются, выявляются причины этих ошибок, затем, по возможности, они устраняются.

В других случаях систематические погрешности учитываются в виде поправок. Например, при измерении длины может быть рассчитана поправка на удлинение, вызванное изменением температуры.

Можно вычислить поправку на выталкивающую силу воздуха при определении массы тела взвешиванием и т. п. Отличительная черта систематических погрешностей – возможность их предварительного расчета или полного устранения совершенствованием экспериментальной методики.

Случайные погрешности прямых измерений

Проведем измерения какой-либо физической величины X несколько раз. Как уже указывалось ранее, мы получим, вообще говоря, несовпадающие результаты:

$$X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n,$$

где n – число измерений.

Различие между числами x_i может быть достаточно заметным, хотя измерения проводятся в одинаковых условиях, теми же средствами измерения, тем же самым методом и одним и тем же исследователем. Из-за неизвестного характера погрешности измеряемая искомая величина остается, вообще говоря, неизвестной.

Расчет случайных погрешностей основан на теории вероятностей и математической статистике. При этом отклонения при измерениях, вызванные неизвестными или трудноучитываемыми факторами, считают случайной величиной. Результат измерения при таком допущении так же будет являться случайной величиной. Прежде всего в математической статистике доказывалось, что при отсутствии систематических погрешностей (или после их устранения) наилучшим приближением измеряемой величины X является так называемое среднее статистическое результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2)$$

При любом конечном числе измерений n невозможно гарантировать, что вычисленное по формуле (2) значение $\bar{x}$ в точности равно искомой величине X . Дело в том, что, хотя в каждой конкретной серии измерений мы получаем n определенных чисел x_i ($i = 1, \dots, n$), сами результаты измерений по своему смыслу являются случайными.

В этом мы можем убедиться, повторив серию из n измерений. Мы получим уже другие числа x_i ($i = 1, \dots, n$).

Среднее статистическое $\bar{x}$, вычисляемое по формуле (2), зависит от всех x_i . В этой ситуации и среднее статистическое $\bar{x}$ также является случайной величиной. Одна из важных теорем математической статистики утверждает, что

при неограниченном увеличении числа измерений n среднее статистическое $\bar{x}$ неограниченно приближается к искомой величине X .

Дисперсией измеряемой величины X называется среднее значение квадратов отклонений отдельных его значений от среднего статистического; дисперсия определяется по формуле:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1} \quad (3)$$

Данная величина характеризует разброс отдельных результатов измерений вокруг истинного значения. Неудобство использования этой величиной заключается в том, что она имеет размерность квадрата измеряемой величины и, следовательно, не может быть напрямую сопоставлена с ней.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) корень квадратный из дисперсии.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2} \quad (4)$$

Дисперсия и СКО измеряемой величины, как правило, определяются точностью используемых приборов, соблюдением условий проведения эксперимента, опытом экспериментатора.

Как было указано выше, среднее статистическое измеряемой величины так же по своей природе является случайной величиной и, следовательно, ее разброс так же может характеризоваться дисперсией и СКО.

Математическая статистика доказывает, что среднее квадратическое отклонение значения среднего арифметического составляет:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x)^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

Эту величину иногда называют среднеквадратичным отклонением среднего значения.

Сопоставив значения СКО для отдельного измерения и среднего статистического, получим

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Указанная зависимость является математическим выражением закона увеличения точности с ростом количества измерений.

$\sigma_{\bar{x}}$ является средней мерой отклонения среднего статистического $\bar{x}$ от истинного значения X . Однако запись результата измерений в виде

$$X = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$$

будет некорректной.

Дело в том, что повторяя серии из n измерений и вычисляя каждый раз новые значения среднего статистического $\bar{x}$, мы будем получать числа, как попадающие внутрь интервала

$$\bar{x} - \sigma_{\bar{x}}; \bar{x} + \sigma_{\bar{x}},$$

так и лежащие вне его.

Более подробное исследование показывает, что выпадают из указанного интервала около трети полученных значений среднего статистического в проведенных сериях измерений. Это естественно, так как величина $\bar{x}$ является оценкой средней, а не максимальной погрешности.

Величину $\sigma_{\bar{x}}$ часто называют среднеквадратичной погрешностью приближенного равенства

$$X \approx \bar{x}.$$

Вообще говоря, теория допускает неограниченно большую величину максимальной погрешности. В то же время следует принять во внимание, что очень большие погрешности практически невероятны, т. е. не встречаются в измерениях.

Согласно математической статистике, для корректного представления результата измерений следует изначально задаться его надежностью или, иначе говоря, доверительной вероятностью α . Корректное понятие о вероятности излагается в специальной литературе.

Величина доверительной вероятности α берется такой, чтобы дополнительная вероятность $(1-\alpha)$ была столь мала, что такое событие практически не происходило бы при однократном испытании. На практике величина доверительной вероятности выбирается близкой к единице, например: 0,9; 0,95; 0,99.

Случайные погрешности принято представлять в виде доверительного интервала, длина которого определяется величиной доверительной вероятности. В качестве центра доверительного интервала для измеряемой величины X берется ее среднее статистическое $\bar{x}$

Границы этого доверительного интервала выражаются произведением среднеквадратичного отклонения и безразмерного коэффициента Стьюдента $t_{\alpha,n}$.

Величина коэффициента Стьюдента зависит от ранее выбранной доверительной вероятности α и целочисленного параметра n , называемого числом степеней свободы. При построении доверительного интервала для измеряемой величины X число степеней свободы берется на единицу меньше количества измерений n , проведенных в одинаковых условиях.

Численные значения коэффициентов Стьюдента для нескольких различных доверительных вероятностей можно найти в Приложении 2.

Результат измерения физической величины X представляется в виде:

$$X = \bar{x} \pm \Delta X = \bar{x} \pm t_{\alpha,n-1} \sigma_{\bar{x}} \quad (7)$$

Смысл записи таков: измеряемая величина X с вероятностью α находится внутри интервала

$$\left(\bar{x} - t_{\alpha, n-1} \sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \sigma_{\bar{x}} \right).$$

Иначе говоря, построенный интервал накрывает значение неизвестной величины X с вероятностью α .

Величину ΔX , представленную формулой (7), называют абсолютной погрешностью измеряемой величины X .

Отметим, что абсолютная погрешность выражается в тех же единицах, что и сама измеряемая величина X .

При обработке результатов измерений кроме абсолютной погрешности в виде (7), используют относительную погрешность измеряемой величины. Относительной погрешностью εX измеряемой величины X называют отношение абсолютной погрешности ΔX к истинному значению X . Так как истинное значение X неизвестно, то в качестве наилучшей оценки относительной погрешности εX используется отношение ΔX к среднестатистическому значению $\bar{x}$.

$$\varepsilon_X = \frac{\Delta X}{\bar{x}}. \quad (8)$$

Относительная погрешность всегда является безразмерной величиной. Относительную погрешность так же можно выразить в процентах, в этом случае формула (8) имеет вид:

$$\varepsilon_X = \frac{\Delta X}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Учет приборной погрешности

При проведении экспериментов может наблюдаться ситуация, в которой все измеренные значения x_i совпадают между собой. В этом случае оценка случайной погрешности $\Delta X_{сл}$ согласно формуле (7) равна нулю. Однако было бы неверно считать, что получено точное значение измеряемой величины X .

Помимо случайной погрешности $\Delta X_{сл}$ на результат измерения влияет погрешность, вносимая прибором, так называемая приборная погрешность. Чем выше точность прибора, тем меньше будет приборная погрешность. По своей сути, величина приборной погрешности определяется разнообразными случайными процессами, происходящими внутри прибора. Величина же $\Delta X_{сл}$ в этом случае рассматривается как оценка погрешностей, вызываемых случайными процессами, протекающими вне измерительного прибора, а величина $\Delta X_{пр}$ - процессами, протекающими внутри прибора.

Приборную погрешность можно интерпретировать как оценку средней погрешности с высоким уровнем доверия (близким к единице), полученную по результатам большого числа измерений в ходе испытаний прибора. Отсюда следует, что случайная и приборная погрешности независимы.

В математической статистике выводится, что общую погрешность результата можно представить как квадратный корень из суммы квадратов отдельных погрешностей:

$$\Delta X = \sqrt{(\Delta X_{\text{ст}})^2 + (\Delta X_{\text{пр}})^2}, \quad (10)$$

Где

$$\Delta X_{\text{пр}} = t_{\alpha, \infty} \frac{\delta}{3}, \quad (11)$$

является приборной погрешностью, соответствующей выбранной доверительной вероятности α . Множитель $t_{\alpha, \infty}$ - коэффициент Стьюдента для заданной доверительной вероятности α и для бесконечного числа степеней свободы, т. е. для числа измерений $n \rightarrow \infty$ его значение можно так же взять в таблицах коэффициентов Стьюдента (приложение 2).

Следовательно, результат измерения величины X может быть представлен в виде:

$$X = \bar{x} \pm \sqrt{\left(t_{\alpha, n-1} \sigma_{\bar{x}}\right)^2 + \left(t_{\alpha, \infty} \frac{\delta}{3}\right)^2} \quad (12)$$

В практических задачах составные части полной погрешности $\Delta X_{\text{ст}}$ и $\Delta X_{\text{пр}}$ могут отличаться друг от друга на порядок и более. В этих случаях для предварительных оценок можно пренебрегать меньшей из них.

При окончательных расчетах погрешности следует использовать общую формулу (12).

Для многих измерительных приборов приборная погрешность выражается классом точности. Класс точности K - это приборная погрешность, выраженная в процентах от максимально допустимых показаний прибора по выбранной шкале измерения, т. е.

$$K = \frac{\delta}{X_{\text{max}}} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где X_{max} – максимально возможное значение измеряемой величины по выбранной шкале.

Из (13) получаем:

$$\delta = \frac{X_{\text{max}}}{100\%} K. \quad (14)$$

Класс точности приводится или в паспорте прибора, или на самом приборе. Величину класса точности помещают обычно в кружок, например, 0,5 или 1,0. Существуют следующие классы точности электроизмерительных приборов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Первые четыре класса являются прецизионными (высокоточными), остальные – техническими. Полагается, что величина δ постоянна по всей той шкале прибора, для которой она вычислена. Для некоторых измерительных

приборов в его паспорте или непосредственно на приборе указывают сразу приборную погрешность. Если же неизвестен класс точности прибора и нет других сведений о приборной погрешности, то δ считают равной цене наименьшего деления шкалы.

Анализ промахов

Отдельным типом погрешностей являются промахи (или грубые ошибки). Под промахами имеются в виду результаты с аномальными числовыми значениями. Причиной промаха может быть, например, сбой аппаратуры. Если экспериментатор записывает показания прибора в протокол измерений, то он может поставить ложную цифру из-за усталости или невнимательности. Промах должен быть исключен из полученной серии результатов измерений.

Однако отбрасывать некоторый результат измерения как промах, руководствуясь только субъективным мнением, некорректно.

Как было указано выше, случайные погрешности могут в принципе принимать весьма большие значения. Следовательно, необходима определенная математическая процедура, позволяющая отличить промах от результата с допустимой (хотя и большой по величине) случайной погрешностью.

При анализе промахов обычно принимают, что случайные погрешности имеют гауссово (нормальное) распределение вероятностей. При этом к результатам измерений применимо правило трех сигм.

Правило трех сигм (3σ) – не менее чем с 99,7 % достоверностью значения нормально распределенной случайной величины лежат в интервале

$$[\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma].$$

Доказательство справедливости нижеизложенной процедуры поиска промахов приводится в курсах теории вероятностей и математической статистики. Процедуру анализа аномальных результатов, основанную на этом правиле, проводят в несколько этапов:

1. Из совокупности измерений $x_1, \dots, x_n$ временно исключаем «подозрительный» результат, который заметно отличается от всех остальных, например x_k .

2. Вычисляем среднее статистическое значение оставшихся результатов измерений x_i ($i \neq k$), используя формулу (2):

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n, i \neq k} x_i. \quad (15)$$

3. Вычисляем величину

$$\Delta x_1 = 3 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n, i \neq k} (x_i - \bar{x}_1)^2}{(n-2)}}. \quad (16)$$

Обращаем внимание, что в сумме под корнем отсутствует слагаемое с «подозрительным» результатом измерения x_k .

4. Проверяем условие

$$|\bar{x}_1 - x_k| \geq \Delta x_1. \quad (17)$$

В случае выполнения условия (17) «подозрительное» значение x_k считается промахом и исключается из совокупности результатов измерений.

При невыполнении условия (17) отклонение результата x_k от остальных значений x_i серии считается допустимым, и значение x_k не исключается из набора результатов.

Косвенные измерения

В современной науке не всегда возможно напрямую исследовать исследуемую величину. Пусть необходимо измерить численное значение некой физической величины Z , что невозможно выполнить прямыми методами. Теоретическая наука функционально связывает величину Z с несколькими другими физическими величинами $A, B, C, \dots$, значения которых уже известны или могут быть измерены непосредственно прямыми методами. Иначе говоря, исследуемая величина Z представляется в виде однозначной зависимости от величин $A, B, C, \dots$:

$$Z = f(A, B, C, \dots), \quad (18)$$

причем явный вид функции f известен экспериментатору.

В ходе эксперимента численные значения величин $A, B, C, \dots$ многократно измеряются в идентичных условиях. Затем, согласно рассмотренной выше методике, для каждой из них вычисляются средние статистические $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots$ по формуле (2), а затем подставляются в функцию (18) вместо соответствующих величин $A, B, C, \dots$.

Вычисленное значение

$$\bar{Z} = f(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots) \quad (19)$$

полагается искомым значением измеряемой величины Z .

При этом, согласно математической статистике, достигается наилучшее приближение к истинному значению неизвестной Z .

После вычисления приближенного значения искомой величины Z необходимо провести оценку погрешности полученного приближения, разумеется, при выбранной доверительной вероятности α .

В курсе математической статистики доказывается, что если измерения $A, B, C, \dots$ проводятся независимо, то абсолютная погрешность ΔZ величины Z , заданной при помощи функции (18), может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A}\right)_{\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}}^2 (\Delta A)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)_{\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}}^2 (\Delta B)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C}\right)_{\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}}^2 (\Delta C)^2 + \dots} \quad (20)$$

В формуле (20) величины $\frac{\partial f}{\partial A}, \frac{\partial f}{\partial B}, \frac{\partial f}{\partial C}, \dots$...представляют собой частные производные функции (18) по переменным А, В, С... соответственно. Выражения для производных получаются аналитическим дифференцированием заданной функции (18). Нижние индексы у производных $A = A, B = B \dots$ означают, что численные значения производных рассчитываются после замены аргументов А, В, С ... на ранее полученные их средние статистические значения. Величины $\Delta A, \Delta B, \Delta C \dots$ в формуле (20) – абсолютные погрешности величин А, В, С... соответственно, каждая из которых рассчитывается по методике, изложенной выше с учетом случайной и приборной составляющих.

При расчете абсолютных погрешностей величин А,В,С... необходимо заранее задать доверительную вероятность α . По условиям эксперимента количества измерений n_A, n_B, n_C , в идентичных условиях для разных величин А, В, С .., вообще говоря, могут быть неодинаковыми.

При необходимости в ходе вычисления средних величин А,В,С... и погрешностей $\Delta A, \Delta B, \Delta C \dots$ проводится анализ и исключение промахов из серий проведенных измерений.

Абсолютная погрешность ΔZ , полученная по формуле (20), представляет собой полуширину доверительного интервала для искомой величины Z при установленной доверительной вероятности α .

Окончательный результат для косвенно измеряемой величины Z можно записать в виде:

$$Z = \bar{Z} \pm \Delta Z, \quad (21)$$

где Z дается выражением (19), а ΔZ вычисляется согласно (20).

Доверительный интервал для величины Z имеет вид $(\bar{Z} - \Delta Z, \bar{Z} + \Delta Z)$.

Неравноточные измерения

Ранее, при рассмотрении методик обработки результатов измерений предполагалось, что измерения величины X выполняются в идентичных условиях, т. е. одним и тем же методом, одним и тем же экспериментатором, использующим одни и те же приборы. В этих случаях часто говорят, что все проведенные измерения выполнялись с одинаковой точностью, и поэтому называют их равноточными.

Технический термин «равноточность» с точки зрения математической статистики означает, что распределения вероятностей всех результатов измерения x_i характеризуются одним и тем же среднеквадратичным отклонением.

Однако часто в технической науке возникает ситуация, когда условия эксперимента не позволяют провести все измерения в идентичных условиях.

Подобные измерения получили название неравноточных.

В подобных случаях все измерения можно разбить на группы, в каждой из которых результаты являются равноточными. Определенные условия эксперимента, при которых измерения являются равноточными, будем для краткости называть методом.

Пусть исследуемая величина X измерялась m различными методами.

Каждым методом было проведено n_k измерений, где $k = 1, 2, \dots, m$, и получено m групп результатов из n_k значений соответственно.

Для каждой группы результатов можно вычислить средние статистические значения $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_m}$ и абсолютные погрешности $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_m$ при доверительной вероятности α по методике, изложенной выше.

Результаты измерений могут быть записаны в следующей форме:

$$\begin{array}{llll} k=1 & x_1, x_2, \dots, x_{n_1} & \overline{x_1} & \Delta x_1 \\ k=2 & x_{n_1+1}, x_{n_1+2}, \dots, x_{n_1+n_2} & \overline{x_2} & \Delta x_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k=m & \dots, x_n & \overline{x_m} & \Delta x_m \end{array} \quad (22)$$

где каждая строка относится к определенному методу.

Очевидно, что сумма всех чисел n_k ($k = 1, 2, \dots, m$) равна количеству всех проведенных измерений n .

Для получения окончательного результата и погрешности неверно было бы вычислять средние арифметические от величин

$$\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_m} \text{ и } \Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_m$$

Во-первых, при подобном усреднении в полученное приближенное значение искомой величины X одинаковый вклад дадут и более грубые, и более точные методы.

Во-вторых, воценку результирующей погрешности ΔX основной вклад дадут наиболее грубые методы, которые характеризуются большими значениями собственных погрешностей Δx_k .

Более корректным способом является использование так называемого статистического веса. Для каждого метода (т.е. для каждой строки результатов измерений вышеприведенной матрицы (22) задается некоторый параметр w_k ($k=1, 2, \dots, m$).

Расчет общего среднего (окончательного результата) с помощью статистических весов w_k проводится по следующей формуле:

$$\overline{X} = \frac{\sum_{k=1}^m w_k \overline{x_k}}{\sum_{k=1}^m w_k} \quad (23)$$

Обычно величина статистического веса w_k принимается обратно пропорциональной квадрату абсолютной погрешности данного метода:

$$w_k = \frac{1}{(\Delta x_k)^2} \quad (24)$$

Сопоставление формул (23) и (24) позволяет выразить приближенное значение исследуемой величины X через результаты обработки отдельных групп измерений, т. е. через значения $x_1, x_2, \dots, x_m$ и $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_m$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{\Delta x_k} \right)^2 x_k}{\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{\Delta x_k} \right)^2}. \quad (25)$$

Вычисление квадрата общей абсолютной погрешности $(\Delta X)^2$ проводится по аналогичной формуле, которая после сокращения будет иметь вид:

$$\Delta X = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{\Delta x_k} \right)^2}}. \quad (26)$$

Чтобы построить для искомой величины X доверительный интервал, соответствующий выбранной доверительной вероятности α , необходимо вычислять все абсолютные погрешности Δx_k ($k = 1, 2 \dots m$) для одной и той же вероятности α . Тогда абсолютная погрешность ΔX , рассчитанная по формуле (26), будет являться полушириной доверительного интервала для величины X при заданной надежности α .

Тема 5: ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лабораторные занятия 3 – 4 (8 час.)

Планирование и обработка результатов однофакторных экспериментов

Эксперимент – метод исследования, в основе которого лежит целенаправленное воздействие на объект в заданных контролируемых условиях, опосредованное рациональным (в идеале теоретическим) знанием. Эксперимент может быть активным и пассивным. Пассивный эксперимент проводят в условиях, когда исследователь не может контролировать параметры процесса. По сути, пассивный эксперимент является наблюдением. Основной, дающий наиболее полную и достоверную информацию вид эксперимента – активный, проводится в контролируемых и управляемых условиях.

Проведение эксперимента в большинстве случаев связано с материальными затратами, отсюда встает задача получения максимума информации об объекте исследования при минимуме материальных затрат.

Решением этой задачи и занимается планирование эксперимента. При исследовании объекта, как правило, не удастся выявить и

контролировать все факторы, влияющие на исследуемые параметры объекта. Поэтому, исходя из предварительной информации об объекте, выявляют основные влияющие факторы, а воздействие остальных рассматривают как «белый шум», наложенный на истинные результаты эксперимента (так называемая рандомизация эксперимента).

Сущность планирования эксперимента заключается в выборе числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения с требуемой точностью и достоверностью и минимальной стоимостью поставленной задачи.

В результате проведения эксперимента, как правило, требуется получить математическую модель исследуемого объекта. На эмпирическом уровне исследований в качестве математических моделей обычно используют алгебраические полиномы (полиномиальные математические модели). Подобные модели называют так же уравнениями регрессии.

При планировании эксперимента исследуемый объект представляется «черным ящиком» (рисунок 1), на который воздействуют факторы x_i , и на выходе из которого фиксируются исследуемые параметры y_i .

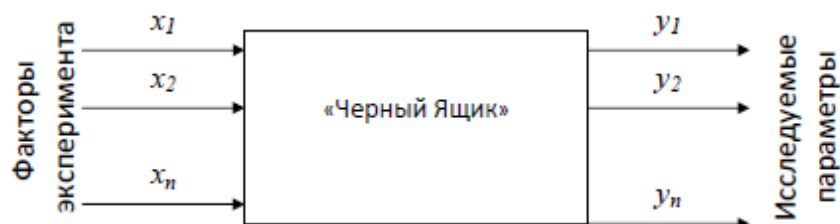


Рисунок 1 - Представление эксперимента в виде «черного ящика»

Каждый фактор x_i может принимать ряд значений, называемых уровнями факторов. Множество возможных уровней фактора x_i называется областью его определения. В общем случае эти области могут быть непрерывными и дискретными, ограниченными и неограниченными.

При проведении активного эксперимента должна быть возможность либо изменения уровней факторов в соответствии с планом эксперимента, либо поддержания их на заданном уровне.

При выборе факторов необходимо обеспечить их совместимость и независимость. Совместимость означает возможность сочетания любой комбинации факторов, а независимость – отсутствие между факторами корреляционной связи.

При выборе исследуемых параметров следует обратить внимание на то, чтобы исследуемые параметры существовали при любом состоянии объекта, выражались количественно одним числом и отвечали требованиям статистической однородности, т. е. каждому набору уровней факторов x_i с точностью до погрешности эксперимента должно соответствовать определенное значение фактора y_i .

Кроме того, желательно, чтобы исследуемые параметры были:

- универсальными, т. е. были характерными не только для исследуемого объекта;
- легко вычисляемыми;
- имели физический смысл.

Зависимость исследуемых параметров от уровней факторов называют функцией отклика, а ее геометрическое представление – поверхностью отклика. Пространство, в котором строят эту поверхность, – факторным пространством. Размерность факторного пространства равна числу факторов.

Так, например, при двух факторах факторное пространство представляет собой факторную плоскость.

Свойства получаемой в результате эксперимента математической модели во многом определяются условиями проведения опытов.

Множество точек факторного пространства, в которых проводится эксперимент, представляется с помощью плана эксперимента:

$$x = \begin{pmatrix} x_1(1) & x_2(1) & \dots & x_n(1) \\ x_1(2) & x_2(2) & \dots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(N) & x_2(N) & \dots & x_n(N) \end{pmatrix}, \quad (27)$$

где n – число факторов; N – число точек факторного пространства.

Точка

$$x^{(0)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x(j) \quad (28)$$

называется центром плана.

Если центр плана совпадает с началом координат, то план называется центральным.

Математическая статистика доказывает, что наиболее адекватно описывают объект математические модели, полученные в результате эксперимента, план которого удовлетворял следующим критериям:

Критерий ортогональности – когда полученные оценки коэффициентов регрессии некоррелированы. Замена нулем любого коэффициента в ММ в этом случае не изменяет значений остальных коэффициентов.

Критерий ротатабельности – когда дисперсия выходной переменной зависит только от расстояния от центра плана.

Критерий А-оптимальности требует выбора такого плана, при котором дисперсионная матрица имеет минимальный след (минимальную сумму диагональных элементов).

Критерий D-оптимальности требует минимизации определителя дисперсионной матрицы.

Критерий G-оптимальности требует достижение наименьшей величины максимальной дисперсии зависимой переменной.

Тема 6: ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ.

Лабораторные занятия 5 – 6 (8 час.)

Полный факторный эксперимент

Наиболее простым в планировании и обработке результатов и в то же время удовлетворяющим вышеуказанным критериям является полный факторный эксперимент.

В полном факторном эксперименте исследуется один параметр и реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Каждый фактор варьируется на двух уровнях – верхнем и нижнем. Интервалом варьирования называют половину разности между верхним и нижним уровнями фактора. При двух уровнях для каждого из n факторов общее число опытов составляет $2n$. Отсюда название полного факторного эксперимента – эксперимент типа $2n$.

Результатом полного факторного эксперимента выступает математическая модель исследуемого объекта в виде уравнения множественной регрессии

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n a_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n \sum_{l=k+1}^n a_{ikl} x_i x_k x_l, \quad (29)$$

где a_0 – свободный член;

a_i , a_{ik} , a_{ikl} – коэффициенты уравнения множественной регрессии.

Так, например, при $n = 2$

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{12} x_1 x_2, \quad (30)$$

при $n = 3$

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{23} x_2 x_3 + a_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (31)$$

Коэффициенты a_0 , a_i , a_{ik} , a_{ikl} – называют коэффициентами уравнения регрессии.

В зависимости от объема априорной информации в математическую модель включают не все, а лишь некоторые взаимодействия первого порядка, иногда – взаимодействия второго порядка и очень редко – взаимодействия выше третьего порядка.

Связано это в связи с тем, что учет всех взаимодействий приводит к громоздким расчетам.

Выбор основного уровня и интервалов варьирования факторов

Наилучшим условиям, определенным из анализа априорной информации, соответствует комбинация (или несколько комбинаций) уровней факторов. Каждая комбинация является многомерной точкой в факторном пространстве. Ее можно рассматривать как исходную точку для построения плана эксперимента. Назовем ее основным (нулевым) уровнем. Построение плана эксперимента сводится к выбору экспериментальных точек, симметричных относительно нулевого уровня.

В разных случаях мы располагаем различными сведениями об области наилучших условий. Если имеются сведения о координатах одной наилучшей

точки и нет информации о границах определения факторов, то остается рассматривать эту точку в качестве основного уровня. Аналогичное решение принимается, если границы известны и наилучшие условия лежат внутри области.

Положение усложняется, если эта точка лежит на границе (или весьма близко к границе) области. Тогда приходится основной уровень выбирать с некоторым сдвигом от наилучших условий.

Может случиться, что координаты наилучшей точки неизвестны, но есть сведения о некоторой подобласти, в которой процесс идет достаточно хорошо. Тогда основной уровень выбирается либо в центре, либо в случайной точке этой подобласти. Сведения о подобласти можно получить, анализируя изученные ранее подобные процессы, из теоретических соображений или из предыдущего эксперимента.

Наконец, возможен случай с несколькими эквивалентными точками, координаты которых различны. Когда отсутствуют дополнительные данные (технологического, экономического характера и т. д.), выбор произволен. Конечно, если эксперимент недорог и требует и немного времени, можно приступить к построению планов экспериментов вокруг нескольких точек.

Резюмируем наши рассуждения о принятии решений при выборе основного уровня в виде блок-схемы (рисунок 2).

После того как нулевой уровень выбран, переходим к следующему шагу – выбору интервалов варьирования.

На выбор интервалов варьирования накладываются естественные ограничения сверху и снизу. Интервал варьирования не может быть меньше той ошибки, с которой экспериментатор фиксирует уровень фактора. Иначе верхний и нижний уровни окажутся неразличимыми. С другой стороны, интервал не может быть настолько большим, чтобы верхний или нижний уровни оказались за пределами области определения. Внутри этих ограничений обычно еще остается значительная неопределенность выбора, которая устраняется с помощью интуитивных решений. При решении задачи оптимизации стремятся выбрать для первой серии экспериментов такую подобласть, которая давала бы возможность для шагового движения к оптимуму.

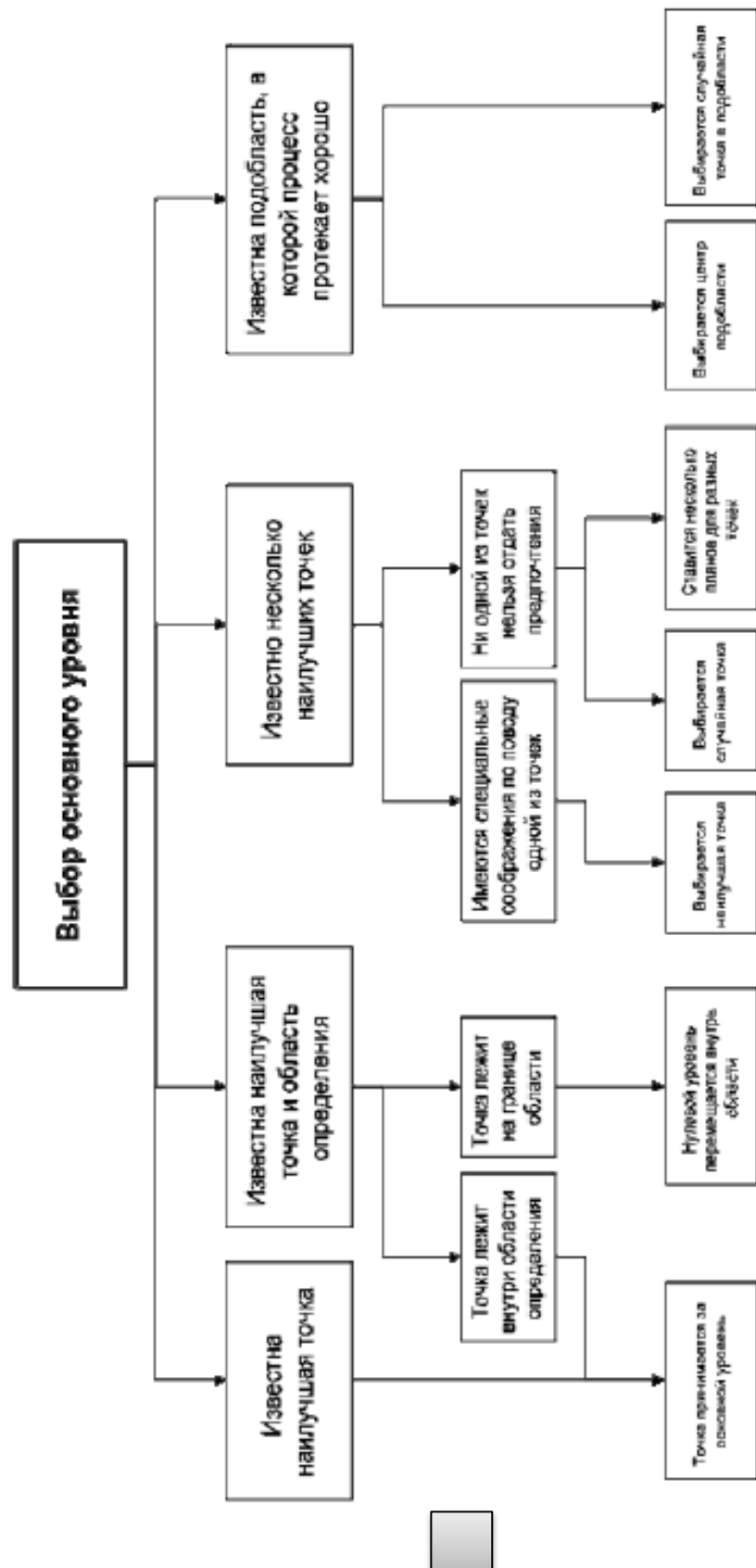


Рисунок 2 - Выбор основного уровня плана эксперимента

В задачах интерполяции интервал варьирования охватывает всю описываемую область. Выбор интервалов варьирования – задача трудная, так как она связана с неформализованным этапом планирования эксперимента. Решение ее производят на основе априорной информации. Это – сведения о точности, с которой экспериментатор фиксирует значения факторов, о кривизне поверхности отклика и о диапазоне изменения параметра оптимизации. Обычно эта информация является ориентировочной (в некоторых случаях она может оказаться просто

ошибочной), но это единственная разумная основа, на которой можно начинать планировать эксперимент. В ходе эксперимента ее часто приходится корректировать.

Стандартизация масштаба факторов

Для удобства расчетов факторы масштабируют таким образом, чтобы значение верхнего уровня было равно +1, а нижнего –1. С этой целью делают преобразование начала координат факторов и переходят к нормированному (стандартному) масштабу:

$$x_i = \frac{(\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0})}{I}, \quad (32)$$

где x_i – нормированное значение;

$\tilde{x}_i$ – натуральное значение;

$\tilde{x}_{i0}$ – основной уровень; I – интервал варьирования.

Интеграл варьирования I равен:

$$I = |\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}| \quad (33)$$

Составление матрицы планирования ПФЭ

План полного факторного эксперимента изображают в виде таблицы, столбцы которой отражают уровни факторов, а строки – номера опытов. Эти таблицы называют матрицами планирования эксперимента. Поскольку значения уровней факторов по модулю всегда равны единице, то обычно в МП записывают только знак уровня (т. е. «+» вместо «1» и «–» вместо «–1»).

Матрица планирования для двух факторов приведена ниже:

№	x_1	x_2	y
1	-	-	y_1
2	+	-	y_2
3	-	+	y_3
4	+	+	y_4

Если для двух факторов все возможные комбинации уровней легко найти прямым перебором, то с ростом числа факторов возникает необходимость в некотором приеме построения матриц.

Рассмотрим прием, основанный на правиле чередования знаков. В первом столбце знаки меняются поочередно, во втором столбце они чередуются через два, в третьем – через 4, в четвертом – через 8 и т. д. по степеням двойки. Так, для трехфакторного эксперимента:

№	x_1	x_2	x_3	y
1	-	-	-	y_1
2	+	-	-	y_2
3	-	+	-	y_3
4	+	+	-	y_4
5	-	-	+	y_5
6	+	-	+	y_6
7	-	+	+	y_7
8	+	+	+	y_8

Влияние факторов на функцию отклика может зависеть от уровня другого фактора, или от сочетания уровней нескольких факторов. Если априорно неизвестно, что такой зависимости между факторами нет, то строят развернутую матрицу планирования, учитывающую не только факторы, но и их взаимодействия. При этом знаки в столбцах для взаимодействий получают перемножением знаков взаимодействующих факторов.

Для удобства расчета свободного члена a_0 математической модели (29) в матрицу вводят фиктивный фактор x_0 .

Пример подобной матрицы приведен ниже:

№	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+	-	-	-	+	+	+	-	y_1
2	+	+	-	-	-	-	+	+	y_2
3	+	-	+	-	-	+	-	+	y_3
4	+	+	+	-	+	-	-	-	y_4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	y_5
6	+	+	-	+	-	+	-	-	y_6
7	+	-	+	+	-	-	+	-	y_7
8	+	+	+	+	+	+	+	+	y_8

Основные свойства матрицы планирования эксперимента:

а) симметричность относительно центра эксперимента

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 0, \quad (34)$$

где i – номер фактора; j – номер опыта; N – число опытов;

б) условие нормировки

$$\sum_{j=1}^N |x_{ij}| = N; \quad (35)$$

в) ортогональность

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{if} = 0, \quad (36)$$

если $i \neq f$;

г) рототабельность – точки в матрице планирования подбираются так, что точность предсказания значений параметра оптимизации одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависит от направления.

Свойство ортогональности позволяет упростить вычисления и получить независимые оценки коэффициентов регрессии. Это означает, в частности, что замена нулем любого коэффициента в уравнении (29) не изменит оценок остальных коэффициентов.

Это свойство может быть полезным, когда точный вид модели не известен и требуется по экспериментальным данным отобрать факторы, существенно влияющие на исследуемый параметр. Если условие ортогональности не выполняется, после исключения каждого незначимого коэффициента необходимо пересчитывать оценки оставшихся коэффициентов и их дисперсии.

Матрица, удовлетворяющая условиям симметричности, нормировки, ортогональности и рототабельности, называется оптимальной.

Матрица планирования полного факторного эксперимента является оптимальной для линейных математических моделей. Если же модель содержит взаимодействия, то свойство рототабельности не выполняется.

ТЕМА № 7 МНОГОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ.

Лабораторные занятия № 7 - 8

Порядок постановки эксперимента и проведение многофакторного эксперимента (12 ч.)

Для оценки точности эксперимента для каждой i -й точки факторного пространства проводят K опытов. В результате получают значения $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iK}$ исследуемого параметра, для которых находят среднее значение $\bar{y}_i$.

При этом опыты в одной точке проводят не подряд, а обходят все точки в первой серии опытов, затем во второй, и так далее до K -й. Для уменьшения влияния внешней среды и неконтролируемых факторов внутри каждой серии точки факторного пространства обходят случайным образом – рандомизируют последовательность опытов. Для большей точности рандомизацию опытов можно провести с помощью генератора случайных чисел.

Например, в случае постановки двух серий опытов для экспериментов 2^3 получим с учетом данных таблицы такие последовательности:

1 серия
1, 6, 5, 2, 7, 3, 8, 4;
2 серия
3, 1, 7, 2, 4, 6, 8, 5.

Таким образом, в первой серии опытов первым выполняется опыт в точке факторного пространства № 1, вторым – в точке № 6 и т. д. Во второй серии первым выполняется опыт в точке № 3, вторым – в точке № 1 и т. д.

Проверка воспроизводимости опытов (однородности дисперсий)

Обработка результатов включает предварительную обработку результатов экспериментов, вычисление коэффициентов регрессии проведение ряда проверок: однородности дисперсии (воспроизводимости), адекватности модели и значимости коэффициентов.

Опыт считается воспроизводимым, если дисперсия σ_{yi}^2 выходного параметра y_i однородна в каждой точке факторного пространства. Для проверки этого в каждой точке факторного пространства проводится оценка дисперсии σ_{yi}^2 по формуле:

$$\sigma_{yi}^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (y_{ik} - \bar{y}_i)^2 \quad (37)$$

Гипотезу однородности (равенства) дисперсий проверяют с помощью критерия Кохрена. Этот критерий пригоден для случаев, когда во всех точках имеется одинаковое число повторных опытов. Расчетное значение этого критерия определяют по формуле:

$$G_p = \frac{\max \sigma_{yi}^2}{\sum_{i=1}^N \sigma_{yi}^2} \quad (38)$$

Критическое значение $G_{кр}$ критерия находят из таблицы распределения Кохрена (приложение 3) по числу степеней свободы числителя

$f_1 = K - 1$, знаменателя $f_2 = N$ и уровню значимости α . Если $G_p < G_{кр}$, гипотеза об однородности дисперсий принимается, в противном случае – отвергается. Во втором случае необходимо изменить условия проведения эксперимента (набор факторов, основной уровень факторов, интервал их варьирования, способы фиксирования или управления уровнями факторов, точность измерительных приборов и пр.).

Расчет оценок коэффициентов регрессионного уравнения

Расчет оценок коэффициентов уравнения регрессии производится по методу наименьших квадратов, при этом минимизируется сумма квадратов отклонений между экспериментальными значениями исследуемого параметра и значениями, вычисленными для тех же точек факторного пространства по уравнению регрессии. Благодаря предварительной стандартизации масштаба факторов и ортогональности плана эксперимента, расчет оценок коэффициентов регрессии превращается в простую арифметическую процедуру

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_i y_j, \\ a_{ik} &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_i x_k y_j, \\ a_0 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j. \end{aligned} \quad (39)$$

Эти расчеты оформляют в табличном виде, для расчета сумм, входящих в формулы надо алгебраически суммировать столбец i и y , при этом для каждого элемента суммы знак берется из соответствующего столбца фактора (реального или фиктивного).

Проверка значимости коэффициентов регрессии

Не все члены математической модели (29) могут вносить существенный вклад в результат функции отклика. Значение некоторых слагаемых может быть на всей области определения факторов близко к нулю или не превышать пределы статистической погрешности. Такие слагаемые могут быть отброшены, что существенно упростит математическую модель. Проверка значимости коэффициентов регрессии означает проверку основной гипотезы об их значимом вкладе в получаемый результат.

Гипотезу о статистической значимости (отличии от нуля) коэффициентов регрессии проверяют по критерию Стьюдента. Расчетное значение t_p этого критерия определяют как частное от деления модуля коэффициента a_i на оценку его среднеквадратического отклонения σ_a :

$$t_p = \frac{|a_i|}{\sigma_a}. \quad (40)$$

В полном факторном эксперименте, благодаря одинаковой удаленности всех экспериментальных точек факторного пространства от центра эксперимента, оценки всех коэффициентов уравнения регрессии независимо от их величины вычисляются с одинаковой погрешностью (при выполнении условия воспроизводимости опытов):

$$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{N}, \quad (41)$$

где σ_y – оценка дисперсии воспроизводимости эксперимента,

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N \sigma_{y_j}^2}{N}. \quad (42)$$

Критическое значение критерия $t_{кр}$ находят из таблицы распределения Стьюдента по числу степеней свободы $f=N(K-1)$ и уровню значимости α (см. приложение 2). Если $t_p > t_{кр}$, гипотеза о значимости коэффициента a_i принимается, в противном случае коэффициент считается незначимым и приравнивается нулю. Незначимость коэффициента может быть обусловлена неверным выбором интервала варьирования фактора. Поэтому иногда бывает полезным расширить интервал варьирования и провести новый эксперимент.

Проверка адекватности полученной ММ

Адекватность математической модели – свойство правильно отражать реальные процессы, протекающие в исследуемом объекте.

Для проверки гипотезы об адекватности математической модели необходимо сравнить две дисперсии:

а) остаточную дисперсию, или дисперсию адекватности, зависящую от разности между значениями y_{ip} , рассчитанными по математической модели, и экспериментальными результатами y_{it} :

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{1}{K(N-L)} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^K (y_{ip} - y_{it})^2 \quad (43)$$

или

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{1}{(N-L)} \sum_{j=1}^N (y_{jp} - \bar{y}_j)^2,$$

где L – число значимых коэффициентов исследуемого уравнения регрессии, не считая a_0 ;

б) дисперсию воспроизводимости, характеризующую погрешности единичных наблюдений:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_{y_i}^2.$$

Из формулы следует, что дисперсия погрешности единичных наблюдений может быть оценена лишь путем сравнения результатов нескольких параллельных опытов, проводимых в каждой экспериментальной точке.

Адекватность модели проверяется по F – критерию Фишера. Его расчетное значение находят как частное от деления оценки дисперсии адекватности на оценку дисперсии единичного наблюдения

$$F_p = \frac{\sigma_{\text{эп}}^2}{\sigma_y^2}. \quad (44)$$

Критическое значение $F_{кр}$ находят из таблицы распределения Фишера (приложение 4) по числу степеней свободы числителя $f_1 = K(N-L)$, знаменателя $f_2 = N(K-1)$ и уровню значимости α . Если $F_p > F_{кр}$, гипотеза об адекватности отклоняется.

Как правило, вначале проверяют адекватность линейной математической модели. Если предположение об адекватности подтверждается, то в качестве окончательной выбирают линейную модель;

если отклоняется – добавляют эффект взаимодействия с наибольшим коэффициентом и вновь проверяют гипотезу, и так до тех пор, пока существуют степени свободы. Возможно, требуется использовать модель более высокого порядка. Если в результате модель все же оказалась неадекватной, это говорит о том, что тип математической модели выбран неудачно, и при данном шумовом уровне и классе точности измерительных приборов математическая модель должна быть уточнена.

В частности, возможно в нее включены не все существенно влияющие факторы.

Переход к физическим переменным

Для записи математической модели в реальных физических величинах производят обратный переход от стандартизированного масштаба к натуральному. Это можно сделать с помощью соотношения

$$F_p = \frac{\sigma_{\text{эп}}^2}{\sigma_y^2}. \quad (45)$$

После чего проводят алгебраическое упрощение полученного уравнения регрессии и записывают окончательный вид модели.

Многочисленные эксперименты: классические планы

При проведении экспериментов, в которых рассматриваются два или более регулируемых переменных факторов, можно пользоваться одним из двух типов планов — классическим или факторным. Первый тип плана применяется почти во всех областях. Факторный план имеет некоторые преимущества перед планом классическим — он короче, точнее при данной продолжительности эксперимента, но в экспериментах применяется гораздо реже.

Сущность классического плана заключается в следующем. Пусть дана зависимая переменная S , которая является функцией нескольких независимых переменных x , y , z и т.д. Тогда все независимые переменные, кроме одной, принимаются постоянными, а эта одна переменная изменяется во всем назначенном интервале чисел. Затем следующая переменная изменяется во всем интервале значений, а предыдущая и все остальные принимаются постоянными

и т.д. В данном случае многофакторный эксперимент состоит из последовательного ряда однофакторных экспериментов. Такой ограниченный классический подход позволяет найти довольно простые функции вида:

$$S = ay^n + bx^m,$$

$$S = ay^n + x^m,$$

$$S = ayb^{cx}$$

и т.д. В таком случае план двухфакторного эксперимента, в котором каждый фактор берется на шести уровнях, схематически будет иметь вид, показанный на рис. 1.2, а.



Рис. 1.2. Планы эксперимента: а — двухфакторного; б — многофакторного

Жирными точками обозначены комбинации условий, при которых должен проводиться эксперимент. Если функции имеют более сложный вид, как например,

$$S = a \sin \frac{by}{x},$$

$$S = a + bx^m y^n + Cx^0 y^0,$$

$$S = ax^{by}$$

и др., то с помощью ограниченного плана, при котором хну поочередно берутся на одном уровне, эти зависимости определить не удастся. В таком случае представляется возможным рассмотреть несколько уровней переменных х и у, (например, рис. 1.2, б) или заполнить весь квадрат и провести эксперимент для всех 36 комбинаций условий.

Многофакторные эксперименты: факторные планы

Факторные планы в виде греко-латинского квадрата можно применять не только в случае однофакторного эксперимента с несколькими внешними переменными, но и с несколькими факторами. Необходимо только соблюдать некоторые предосторожности.

Одним из серьезных ограничений использования факторных планов является то, что их применение не вызывает затруднений только для формул

двух типов. При этом до начала обработки данных должно быть известно, к какому классу относится формула. В первом типе формулы зависимая переменная S представляет собой сумму функций от независимых переменных. В общем виде эта формула выглядит следующим образом:

$$S = f_1(x) + f_2(y) + f_3(z),$$

где x, y, z — функция любой сложности.

Примерами такого типа невзаимодействующих функций являются задачи, связанные со следующими переменными: тяговым усилием трактора для сцепки плугов, сеялок, борон и др.; глубиной вспашки; количеством удобрений и др.

Второй тип формул представляет собой произведение отдельных функций независимых переменных

$$S = f_1(x)f_2(y)f_3(z). \quad (1.11)$$

Это выражение представляет собой частный случай равенства (1.10), ибо после его логарифмирования получим уравнение, эквивалентное (1.10):

$$\log S = \log f_1(x) + \log f_2(y) + \log f_3(z). \quad (1.12)$$

Уравнение (1.11) очень удобно в применении к экспериментам различного рода. Оно включает выражение, которое употребляется при анализе размерностей (см. гл. 4):

$$S = \varphi x^a y^b z^c, \quad (1.13)$$

а также при выводе ряда других сложных формул.

Если известно, что функция относится к классу, который описывается равенством (1.11), выполнение факторного эксперимента проводится в следующем порядке. Пусть в сбалансированном эксперименте переменные x, y и z берутся на трех уровнях. Тогда латинский квадрат имеет вид:

	y_1	y_2	y_3
*3	z_1	z_2	z_3
x_1	z_1	z_2	z_3
x_2	z_2	z_3	z_1
x_3	z_3	z_1	z_2

Напишем три логарифмических уравнения для строки, содержащей X , и просуммируем их:

$$(\lg S)_a = \lg f_1(X_1) + \lg f_2(Y_1) + \lg f_3(Z_3);$$

$$(\lg S)_b = \lg f_1(X_1) + \lg f_2(Y_2) + \lg f_3(Z_1);$$

$$(\lg S)_c = \lg f_1(X_1) + \lg f_2(Y_3) + \lg f_3(Z_2);$$

$$\Sigma \lg S_{x1} = 3 \lg f_1(X_1) + \lg [f_2(Y_1)f_2(Y_2)f_2(Y_3)] + \lg [f_3(Z_3)f_3(Z_1)f_3(Z_2)].$$

Такой же вариант можно повторить для строки, в которую входит X2, откуда

$$\Sigma \lg S_{x2} = 3 \lg f_1(X_2) + \lg[f_2(Y_1)f_2(Y_2)f_2(Y_3)] + \lg[f_3(Z_2)f_3(Z_3)f_3(Z_1)].$$

Для верхней строки с X3 имеем или в общем виде

$$\begin{aligned} \lg f_1(X_1) &= \frac{\sum \lg S_{x1}}{n} - \text{const}; \\ \lg f_1(X_2) &= \frac{\sum \lg S_{x2}}{n} - \text{const}; \\ \lg f_1(X_3) &= \frac{\sum \lg S_{x3}}{n} - \text{const}, \\ \Sigma \lg S_{x3} &= 3 \lg f_1(X_3) + \lg[f_2(Y_1)f_2(Y_2)f_2(Y_3)] + \lg[f_3(Z_1)f_3(Z_2)f_3(Z_3)], \end{aligned}$$

где n — число уровней независимой переменной.

Равенства (1.14) и (1.15) показывают, что если усреднение производить по соответствующим уровням переменной Y, а затем Z, то будет получен тот же самый результат, что и для случая усреднения по уровням переменной X. Если добавить еще одну переменную, т.е. когда получится греко-латинский квадрат, правило влияния новой переменной на результат S останется прежним.

Если экспериментатору известно, что будущая формула определяется равенством (1.10), т.е. имеет вид суммы, то влияние переменных X, Y и Z на S находится усреднением соответствующих значений S, а не gS . Если вид функции неизвестен или она не подходит к какому-либо виду, то факторный эксперимент проводить необязательно. В данном случае целесообразнее применить классический метод.

Пользуясь формулами (1.15), можно построить графики или таблицы, которым будут соответствовать функции:

$$S_x = k f_1(X); \quad S_y = k f_2(Y); \quad S_z = k f_3(Z),$$

где S_x — антилогарифм $S \log S_x/n$;

k — постоянная в формулах (1.15), которая получена по значениям y и z , исключаемых при использовании латинского квадрата; $f\{X\}$ — функция переменной X.

Решая уравнения (1.16) относительно $f_1(X), f_2(Y), f_3(Z)$ и подставив их в формулу (1.11), получим

$$S = K(S_x)(S_y)(S_z),$$

$$\text{где } K = (kl/kf^l)^{1/l}.$$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Перечень основной литературы:

1. Методология научных исследований Электронный ресурс / Королев Е. В., Иноземцев А. С., Гришина А. Н., Иноземцев С. С., Смирнов В. А. : учебное пособие для обучающихся магистратуры. - Москва : МИСИ – МГСУ, 2020. - 104 с. - ISBN 978-5-7264-2088-2, экземпляров неограничено

2. Ренгольд, О. В. Методология научных исследований Электронный ресурс / Ренгольд О. В. : учебно-методическое пособие. - Омск : СибАДИ, 2019. - 46 с., экземпляров неограничено

Перечень дополнительной литературы:

1. Лапаева, М. Г. Методология научных исследований Электронный ресурс : Учебное пособие / М. Г. Лапаева, С. П. Лапаев. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. - 249 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-7410-1791-3, экземпляров неограничено

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические рекомендации
по выполнению практических работ
по дисциплине **МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**
для студентов направления подготовки
19.04.01 Биотехнология
Направленность (профиль): «Биотехнология производства продукции из рас-
тительного сырья, виноделия и бродильных производств»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практическое занятие является одной из форм проведения групповых занятий со студентами, имеющей своими целями более глубокое усвоение обучаемыми лекционного материала, развитие у них умения целенаправленной работы с научной, учебной литературой для самостоятельного добывания новых знаний, приобретение навыков публичных выступлений, ведения дискуссий и т.д.

Практические занятия предполагают использование различных форм работы: обсуждение теоретических вопросов, решение задач, обсуждение докладов, анализ информации. Практические занятия проводятся с целью углубления и закрепления теоретических знаний, привития навыков анализа обстоятельств дела в конкретно заданной ситуации, что весьма важно для будущей практической деятельности. Они, являясь самостоятельной формой обучения студентов, углубляют знания, полученные на лекциях, способствуют самостоятельной работе с нормативным материалом, опубликованной практикой и литературой.

Занятия проводятся в форме опроса студентов по теоретическим вопросам, обозначенным в планах, а также обсуждения вариантов решения практических заданий (ситуаций), которые были предложены в качестве подготовки к занятию. Готовясь к занятиям, студенты должны изучить:

- материалы лекции по предполагаемой теме, а также план практического занятия;
- соответствующие теме занятия положения нормативно-правовых актов;
- основные положения теории;
- рекомендованную в планах практических занятий базовую, а также дополнительную литературу и методические разработки для студентов, подготовленные кафедрой.

При подготовке к практическому занятию студент обязан, изучив действующее законодательство и рекомендованную литературу, письменно изложить в специальной тетради решение задач, заданных преподавателем. Их изложение не должно сводиться лишь к краткому ответу на вопрос. Необходимым признается такое обоснование вывода, которое в принципе является доказательным.

Практические занятия строятся по следующей схеме:

- вначале преподаватель объявляет тему и задачи практического занятия;
- производит опрос студентов по теоретическим вопросам, обозначенным в плане занятия, а также проверяет наличие у студентов письменных ре-

шений задач. Данные решения обсуждаются в форме дискуссии непосредственно на занятии;

- по окончании занятия подводятся итоги дискуссии и общие итоги.

Применительно к отдельным темам занятия, с учетом специфики обсуждаемой темы, указанная схема может корректироваться. Однако основе занятия, в любом случае, лежит решение практических ситуаций. Их количество определяется преподавателем с учетом всех особенностей изучаемой темы и масштабности ее проблемных вопросов.

Отвечающий на занятии студент обязан кратко изложить содержание практической ситуации.

Лучше всего целенаправленно готовиться к выступлению по определенному вопросу, изучая другие вопросы с целью лучше разобраться в предмете выступления. Темы выступлений (докладов) можно согласовать с преподавателем заранее. Докладчики могут разграничить между собой материал, вопросы, согласовать последовательность выступлений. Чтобы во время выступления чувствовать себя увереннее, следует подготовить опорный конспект в виде развернутого плана, в который можно включить также представляемые в выступлении схемы, определения, формулы, графики и др. На семинаре можно сделать не обязательно большое, развернутое выступление, полностью раскрывающее какой-либо вопрос, но и небольшое дополнение, уточнение, задавать вопросы в процессе обсуждения.

Если не удалось выступить на семинаре, следует подготовить письменную работу по согласованию с преподавателем. Это может быть:

- словарь терминов,
- графики с комментариями,
- формулы с комментариями и примерами,
- структурно-логические схемы,
- развернутые планы ответов на вопросы темы,
- аннотации статей по теме семинара (краткое, не более 1 стр., самостоятельное изложение содержания статьи) и др.

Конспекты лекций, опорные конспекты к выступлениям и другие записи по изучаемому предмету целесообразно группировать по темам и накапливать для подготовки к зачету в специальной папке.

Планирование практических занятий осуществляется с учётом установленного количества часов. Основные этапы планирования и подготовки занятий:

- Разработка системы занятий по теме или разделу.
- Определение задач и целей занятия.
- Определение оптимального объема учебного материала, расчленение на ряд законченных в смысловом отношении блоков, частей.

- Разработка структуры занятия, определение его типа и методов обучения. Нахождение связей данного материала с другими дисциплинами и использование этих связей при изучении нового материала.

- Определение объема и форм самостоятельной работы на занятии. Определение форм и методов контроля знаний студентов. Определение формы подведения итогов.

- Определение самостоятельной работы по данной теме.

При проведении практических занятий преподаватель уделяет внимание формулировкам выводов, способности студентов сравнивать, анализировать, находить несоответствия, оценивает уровень знаний студентов.

При подведении итогов преподаватель знакомит студентов с результатами выполнения заданий, оценивает качество выполненной работы каждым студентом.

Студенты, не подготовившиеся к семинарскому занятию, равно как и не имеющие письменных решений каких-либо практических ситуаций, заданных преподавателем, должны в отдельном порядке отчитаться за занятие.

После развернутого обсуждения всех наиболее важных вопросов занятия, а также вопросов, касающихся казусов и вариантов его решения, преподаватель подводит итоги дискуссии.

Тема 1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ МЕТОДОЛОГИИ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1. Методология научного познания

Цель: формирование знаний об основных принципах методологии научного познания.

Общие положения

Наука является частью культуры, как один из видов человеческой деятельности. Задачей науки является получение и систематизация объективных знаний о мире. Наука неизменно ассоциируется со знанием. В то же время понятия «наука» и «знание» не тождественны. Важнейшим отличием научности является «объективное знание».

Все люди в процессе жизнедеятельности приобретают знания. Обыденные или житейские. Они формируются стихийно, под воздействием повседневного опыта, на основе традиций данного общества. Такие знания могут характеризоваться как неточные, даже противоречивые. Научное знание имеет свои признаки:

- истинность (отображение явлений действительности независимо от субъективного мнения о них);
- логическая обоснованность (новое знание входит в систему предшествующего опыта);
- значимость (истинность);
- системность (доказательность).

Научное исследование — это деятельность, направленная на всестороннее изучение объекта, процесса или явления, их структуры и связей, а также получение и внедрение в практику полезных для человека результатов. Главной целью науки является получение знаний. Важнейшими способами обоснования полученного знания являются многократные проверки наблюдениями и экспериментами, обращение к первоисточникам.

Продуктивная деятельность направлена на получение объективно нового или субъективно нового результата. Но продуктивная деятельность часто может разрушать прежние стереотипы, поэтому для получения субъективно нового результата применяют термин «упорядочивающая деятельность».

Любая научно-исследовательская деятельность всегда направлена на получение объективно нового результата. Поэтому продуктивная деятельности требует организации, предполагающей:

- внутреннюю упорядоченность и согласованность взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленную его строением;
- совокупность действий или процессов, которые ведут к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого.

Методология научных исследований в области биотехнологии базируется на комплексе фундаментальных наук. К ним относятся генетика, молекулярная биология, биохимия, эмбриология, микробиология и клеточная биология. Также научные исследования в области биотехнологии основываются на принципах прикладных инженерных наук.

Контрольные вопросы:

1. Сущность и роль научного познания.
2. Методологические подходы и концепции.
3. Методология как учение о методах исследования в биотехнологии

**Тема 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ
ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ СФЕРЕ**

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Методологические особенности планирования и проведения исследований в сфере биотехнологии

Цель: формирование знаний о передовых методологических подходах к исследованию проблем в сфере биотехнологии

Общие положения

Методология (в ее широком понимании) — это учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности. Методология в науке – это учение о принципах построения, формах и способах научного познания.

Методология выступает как средство теоретического познания и преобразования действительности.

Методология как учение о методах исследований в биотехнологии составляет совокупность взглядов, результат познания и осмысления практики, что позволяет создавать конкретные теоретические суждения об изучаемых явлениях и процессах в данной сфере деятельности. Для проведения исследований в области разработки продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств используют различные методы и подходы.

Научное исследование – это процесс выработки новых научных знаний, форма реализации и развития науки, осуществление оценки влияния на объекты разных факторов и наряду с этим изучение взаимодействия между явлениями с целью получения убедительно доказанных и полезных для науки и практики решений.

Цель исследования определяется как точный механизм интеграции различных действий в систему «цель – средство – результат». Цель научного исследования – нахождение определенного объекта, изучение его структуры, характеристик, связей на фундаменте разработанных в науке позиций и приемов познания, а также получение важных для деятельности человека результатов.

Объект исследования – система, процесс или явление, порождающие проблемную ситуацию, избранные для изучения. Получение знаний об объекте, необходимых для решения конкретной проблемы, осуществляется посредством изучения результатов целенаправленного научного воздействия на отдельные части объекта, называемые предметами исследования.

Предмет исследования – это множество устойчивых взаимосвязанных характеристик объекта, связанных также с конкретными целями, проблемами и задачами исследования, т. е. это какой-либо из аспектов объекта исследования. Предмет исследования является носителем группы существенных свойств, связей, признаков изучаемого объекта и служит средством его научного познания.

Гипотеза – научное утверждение, которое представляет собой вероятное решение проблемы, предположение, истинное значение которого не очевидно, т. е. требуются какие-то доказательства, которые являются целью исследования.

Контрольные вопросы:

1. Методологические особенности научных исследований в области биотехнологии
2. Постановка целей и задач, формулирование предмета и объектов исследования по разработке продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств.
3. Формулирование гипотезы научного исследования в области производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств.
4. Составление схемы проведения исследования на примере разработки продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств

Тема 3. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Общенаучные методы исследований в области биотехнологии.

Цель: изучение методологических подходов к выбору релевантных методов исследования

Общие положения

Научное исследование — это деятельность, направленная на всестороннее изучение объекта, процесса или явления, их структуры и связей, а также получение и внедрение в практику полезных для человека результатов.

Под научной деятельностью понимается деятельность, направленная на получение и применение новых знаний. Научные исследования обычно подразделяют на три основные группы: фундаментальные, прикладные и разработки.

Под фундаментальными исследованиями понимается экспериментальная или теоретическая деятельность, направленная на получение новых и объективных знаний о мире. В процессе таких исследований изучается природа, сущность явлений. Их целью является расширение и углубление научного знания в целом. В результате фундаментальных исследований формируется научное мировоззрение, формулируются законы, теории, концепции, открытия. В нашей стране ведущим научным центром является Российская академия наук.

Прикладные исследования — деятельность, направленная на применение новых знаний для достижения практических целей, решение конкретных задач. Их цель — использование научных фундаментальных знаний на практике. Результатом прикладных исследований становятся новые технологии, методики.

Разработки — деятельность, основанная на знаниях, приобретенных в результате проведения научных исследований, направленная на создание новых продуктов и услуг.

Метод исследования — средство приобретения научных знаний, умений, практических навыков и данных в каких-либо сферах деятельности.

В науке о туризме учёные и специалисты опираются в своих исследованиях на общенаучную, специальную и частную методологию.

Общенаучная методология обеспечивает правильные и точные представления об общих законах развития туризма, его своеобразии и составляющих компонентах, а также месте и роли в нем тех явлений, которые изучают ученые и специалисты. В ее основе лежит диалектический подход к пониманию сущности туризма.

Специальная методология позволяет формулировать законы и закономерности, относящиеся к своеобразию формирования, развития и функционирования феноменов при исследованиях конкретных явлений и процессов в туризме. Она основывается на общенаучном знании и строится с учётом достижений смежных наук, например экономики, юриспруденции, информатики и социологии.

В качестве общенаучных методов применяют сравнение, анализ и синтез, индукцию и дедукцию, исторический и логический методы, позитивный и нормативный анализ.

Индукция (от лат. induction — наведение) — это умозаключение от фактов к некоторой гипотезе (общему утверждению). Различают полную индукцию, когда обобщение относится к конечно-обозримой области фактов и сделанное

закключение полностью рассматривает изучаемое явление, и неполную индукцию, когда оно относится к бесконечной или конечно-необозримой области фактов, а сделанное заключение позволяет составить лишь ориентировочное мнение об изучаемом объекте. Но это мнение может быть недостоверным.

Дедукция (от лат. *deduction* – выведение) – это вывод, сделанный по правилам логики, то есть переход от общего к частному. Дедукция – это форма научного познания, когда вывод делается на основе знаний о признаках всей совокупности. Это метод перехода от общих представлений к частным. Аналогия (от греч. *analogia* – соответствие, сходство) – это метод научного познания, с помощью которого достигается знание об одних предметах или явлениях на основании их сходства с другими.

Умозакключение по аналогии происходит в том случае, когда знание о каком-либо объекте переносится на другой менее изученный, но сходный с ним по существенным свойствам и качествам. Одним из основных источников научных гипотез являются именно такие умозакключения. Благодаря своей наглядности метод аналогий получил широкое распространение в науке и технике.

Метод аналогий является основой другого метода научного познания – метода моделирования.

Моделирование (от лат. *modulus* – мера, образец) – это метод научного познания, заключающийся в замене изучаемого объекта его специально созданным аналогом или моделью, по которым определяются или уточняются характеристики оригинала. При этом модель должна содержать все существенные черты реального объекта.

Одной из основных категорий теории познания является именно моделирование. На его идее базируется любой метод научного исследования, как теоретический, так и экспериментальный. В современной науке и технике широко используется теория подобия (геометрического, физического, физико-механического), которая служит основой для построения моделей и разработки теории эксперимента.

Абстрагирование (от лат. *abstractio* – отвлечение) – это метод научного исследования, основанный на том, что при изучении какого-либо явления (процесса) не учитываются его несущественные признаки и стороны.

Это позволяет упрощать картину изучения явления. Абстракции сводятся к перестройке предмета исследования, т.е. замещению первоначального предмета другим.

Абстрактное понятие противопоставляется конкретному, а абстрагирование – конкретизации.

Конкретизация (от лат. *concretus* – сгущенный, уплотненный, сросшийся) – это метод научного познания, с помощью которого выделяются существенные свойства, связи и отношения предметов или явлений. Он требует учета всех реальных условий, в которых находится исследуемый объект.

Контрольные вопросы:

1. Классификация научных исследований.
2. Общенаучная методология исследований.
3. Применение общенаучных методов в исследованиях в области биотехнологии.
4. Специальная методология исследований в области биотехнологии

Тема 4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Статистическая обработка результатов эксперимента

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков статистической обработки результатов эксперимента.

Общие положения

При оценке результатов измерений важно знать не только точность, но и надежность результатов. Степень надежности полученного результата можно оценить, если известна его доверительная вероятность. На практике очень часто принимают доверительную вероятность α равную 0,95 (или 95%). При этом доверительные границы для среднего значения результата измерений можно найти по выражению:

$$y = \bar{y} \pm \Delta y = \bar{y} \pm \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}$$

где $\bar{y}$ – среднее арифметическое случайной величины;

σ – средняя квадратичная ошибка;

n – число повторных измерений;

t – табличное значение критерия Стьюдента для n – количества повторных измерений при $\alpha=0,95$.

Величину, которая считается наиболее вероятным значением измеряемой величины, находят по формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

где y_i – измеряемые значения.

До сих пор речь шла о доверительных вероятностях для отдельного измерения y_i . На практике важнее знать о допустимых отклонениях среднего арифметического $\bar{y}$ от истинного значения y . Соответствующие задачи могут быть решены, если Δy определяется из следующего соотношения:

$$\Delta y = \pm \frac{tS}{\sqrt{n}}$$

где t – критерий Стьюдента;

S - средняя квадратичная ошибка;

n - число измерений.

Среднюю квадратичную ошибку повторных (параллельных) опытов определяют по выражению:

$$o = S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}.$$

Величина $f = n - 1$ называется степенью свободы, под которым понимается число независимых сравнений или число независимых измерений (общее число измерений минус число наложенных связей). В нашем случае на измерения наложена одна связь (для вычислений требуется знание среднего значения) и поэтому $f = n - 1$.

Для определения ошибок измерений проводим проверку нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значения к выборкам. Для этого используем критерий Стьюдента:

$$\frac{y - \bar{y}}{S} \geq t, \text{ или } t_{\text{расч}} \geq t_{\text{табл.}}$$

Применительно к проверяемым выражениям можно использовать следующие выражения:

$$t_{\text{расч}} = \frac{y_{\text{max}} - \bar{y}}{S};$$

$$t_{\text{расч}} = \frac{\bar{y} - y_{\text{min}}}{S}.$$

Если условие $t_{\text{расч}} \geq t_{\text{табл.}}$ не выполняется, то результаты измерений нельзя считать ошибочными.

Контрольные вопросы:

- 1 С какой целью каждый опыт проводят в нескольких повторностях?
- 2 Расчет средней величины результатов измерений.
- 3 Расчет средней квадратичной ошибки повторных (параллельных) опытов.
- 4 Какая величина называется степенью свободы?
- 5 Как осуществляется проверка нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значений к выборкам.

План работы

- 1 Рассчитать средние арифметические результатов каждого опыта проведенного эксперимента и величину средней квадратичной ошибки;
- 2 Все возможные комбинации уровней факторов определить с помощью третьего приема, указанного выше.
- 3 Провести проверку нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значений к выборке по каждому опыту на уровне значимости 0,05 (см. табл. 7).

Задания для самостоятельного выполнения

1 Провести проверку нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значений к выборке по каждому опыту на уровне значимости 0,05 (см. табл. 7).

Таблица 7 Критические значения t_α

n	$\alpha=0,10$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
3	1,15	1,15	1,15
4	1,42	1,46	1,49
5	1,60	1,67	1,75
6	1,73	1,82	1,94
7	1,83	1,94	2,10
8	1,91	2,03	2,22
9	1,98	2,11	2,32
10	2,03	2,18	2,41
11	2,09	2,23	2,48
12	2,13	2,29	2,55
13	2,17	2,33	2,61
14	2,21	2,37	2,66
15	2,25	2,41	2,70

Тема 5. ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Методология планирования и проведения эксперимента

Цель занятия: ознакомиться с основными понятиями планирования эксперимента.

Общие положения

Планирование эксперимента имеет свою определенную терминологию. Рассмотрим общие термины.

Эксперимент – это система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях.

Опыт – воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов. Опыт – это отдельная элементарная часть эксперимента.

Планирование эксперимента – процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Все факторы, определяющие процесс, изменяются одновременно по специальным правилам, а результаты эксперимента представляются в виде математической модели.

Задачи, для решения которых может использоваться планирование эксперимента, чрезвычайно разнообразны. К ним относится поиск оптимальных условий, построение интерполяционных формул, выбор существенных факторов, оценка и уточнение констант теоретических моделей, выбор наиболее приемлемых из некоторого множества гипотез о механизме явлений, исследование диаграмм «состав – свойство» и т. д.

Поиск оптимальных условий является одной из наиболее распространенных научно-технических задач. Она возникает в тот момент, когда установлена возможность проведения процесса и необходимо найти наилучшие (оптимальные) условия его реализации. Такие задачи называются задачами оптимизации. Процесс их решения называется процессом оптимизации или просто *оптимизацией*. Примеры задачи оптимизации – выбор оптимального состава многокомпонентных смесей и сплавов, повышение производительности действующих установок, повышение качества продукции, снижение затрат на ее получение и т. п.

Выделяются следующие этапы построения математической модели:

- 1) сбор и анализ априорной информации;
- 2) выбор факторов и выходных переменных, области экспериментирования;
- 3) выбор математической модели, с помощью которой будут представляться экспериментальные данные;
- 4) выбор критерия оптимальности и плана эксперимента;

- 5) определение метода анализа данных;
- 6) проведение эксперимента;
- 7) проверка статистических предпосылок для полученных экспериментальных данных;
- 8) обработка результатов;
- 9) интерпретация и рекомендации.

Факторы определяют состояние объекта. Основное требование к факторам – управляемость. Под *управляемостью* понимается установление нужного значения фактора (уровня) и поддержание его в течение всего опыта. В этом состоит особенность *активного эксперимента*. Факторы могут быть количественными и качественными. Примерами количественных факторов являются температура, давление, концентрация. Их уровням соответствует числовая шкала. Различные катализаторы, конструкции аппаратов, способы лечения, методики преподавания являются примерами качественных факторов. Уровням таких факторов не соответствует числовая шкала, и их порядок не играет роли.

Выходные переменные – это реакции (отклики) на воздействие факторов. Отклик зависит от специфики исследования и может быть экономическим (прибыль, рентабельность), технологическим (выход, надежность), психологическим, статистическим и т. д. Параметр оптимизации должен быть эффективным с точки зрения достижения цели, универсальным, количественным, выражаемым числом, имеющим физический смысл, он должен быть простым и легко вычисляемым.

Затраты машинного времени можно значительно сократить, если на этапе оптимизации параметров использовать экспериментальную факторную математическую модель. Экспериментальные факторные модели, в отличие от теоретических, не используют физических законов, описывающих происходящие в объектах процессы, а представляют собой некоторые формальные зависимости выходных параметров от внутренних и внешних параметров объектов проектирования.

Экспериментальная факторная модель может быть построена на основе проведения экспериментов непосредственно на самом техническом объекте (физические эксперименты) либо вычислительных экспериментов на ЭВМ с теоретической моделью.

При построении экспериментальной факторной модели объект моделирования (проектируемая техническая система) представляется в виде «черного ящика», на вход которого подаются некоторые переменные X и Z , а на выходе можно наблюдать и регистрировать переменные Y .

В процессе проведения эксперимента изменение переменных X и Z приводит к изменениям выходных переменных Y . Для построения факторной модели необходимо регистрировать эти изменения и осуществить необходимую их статистическую обработку для определения параметров модели.

При проведении физического эксперимента переменными X можно

управлять, изменяя их величину по заданному закону. Переменные Z – неуправляемые, принимающие случайные значения. При этом значения переменных X и Z можно контролировать и регистрировать с помощью соответствующих измерительных приборов. Кроме того, на объект воздействуют некоторые переменные E , которые нельзя наблюдать и контролировать. Переменные $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ называют контролируруемыми управляемыми; переменные $Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ – контролируемыми, но неуправляемыми, а переменные $E = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_l)$ – неконтролируемыми и неуправляемыми. Переменные X и Z называют *факторами*. Факторы X являются управляемыми и изменяются как детерминированные переменные, а факторы Z неуправляемые, изменяемые во времени случайным образом, т. е. Z представляют собой случайные процессы. Пространство контролируемых переменных – факторов X и Z – образует *факторное пространство*.

Выходная переменная Y представляет собой вектор зависимых переменных моделируемого объекта. Ее называют *откликом*, а зависимость Y от факторов X и Z – *функцией отклика*. Геометрическое представление функции отклика называется *поверхностью отклика*.

Переменная E действует в процессе эксперимента бесконтрольно. Если предположить, что факторы X и Z стабилизированы во времени и сохраняют постоянные значения, то под влиянием переменных E функция отклика Y может меняться как систематическим, так и случайным образом. В первом случае говорят о систематической помехе, а во втором – о случайной помехе. При этом полагают, что случайная помеха обладает вероятностными свойствами, не изменяемыми во времени. Возникновение помех обусловлено ошибками методик проведения физических экспериментов, ошибками измерительных приборов, неконтролируемыми изменениями параметров и характеристик объекта и внешней среды.

В вычислительных экспериментах объектом исследования является теоретическая математическая модель, на основе которой необходимо получить экспериментальную факторную модель. Для ее получения необходимо определить структуру и численные значения параметров модели.

Под структурой модели понимается вид математических соотношений между факторами X , Z и откликом Y . Параметры представляют собой коэффициенты уравнений факторной модели. Структуру модели обычно выбирают на основе априорной информации об объекте с учетом назначения и последующего использования модели. Задача определения параметров модели полностью формализована. Она решается методами регрессионного анализа. Экспериментальные факторные модели называются также регрессионными моделями.

Тема 5. ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6 Априорное ранжирование факторов

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков априорного ранжирования факторов (психологический эксперимент).

Общие положения

Существуют методы, которые применяют при обработке литературных данных на первой стадии экспериментальной работы в тех случаях, когда из большего числа факторов нужно выделить наиболее важные для дальнейшего изучения и отсеять остальные.

На стадии предварительного изучения объекта исследования при формализации априорных сведений иногда полезно проведение психологического эксперимента, заключающегося в объективной обработке данных, полученных в результате опроса специалистов или из исследований, опубликованных в литературе. Такой эксперимент позволяет более правильно спроектировать объект исследования, принять или отвергнуть некоторые предварительные гипотезы, дать сравнительную оценку влияния различных факторов на параметры оптимизации и тем самым правильно отобрать факторы для последующего активного эксперимента, обоснованно исключив некоторые из них из дальнейшего рассмотрения.

При решении подобных задач можно использовать метод априорного ранжирования факторов.

Особенность метода априорного ранжирования факторов заключается в том, что факторы, которые согласно априорной информации могут иметь существенное влияние, ранжируются в порядке убывания вносимого ими вклада. Вклад каждого фактора оценивается по величине ранга места, которое отведено исследователем (специалистом при опросе, автором статьи и т.п.) данному фактору при ранжировании всех факторов с учетом их предполагаемого (количественно неизвестного) влияния на параметры оптимизации. При сборе мнений путем опроса специалистов каждому из них предлагается заполнить анкету, в которой перечислены факторы, их размерность и предполагаемые интервалы варьирования. Заполняя анкету, специалист определяет место факторов в ранжированном ряду. Одновременно он может включить дополнительные факторы или высказать мнение об изменении интервалов варьирования.

Результаты опроса специалистов (или ранжирования по литературным данным) обрабатываются следующим образом.

Сначала определяют сумму рангов по факторам $\left(\sum_{i=1}^m a_i\right)$, а затем разность (Δ_i) между суммой каждого фактора и средней суммой рангов $m\left(\frac{k+1}{2}\right)$ и сумму квадратов отклонений $(\sum_{i=1}^m \Delta_i^2)$:

$$\Delta i = \sum_1^m a_{ij} - \frac{1}{k} \sum_1^k \sum_1^m a_{ij} = \sum_1^m a_{ij} - T;$$

$$s = \sum_1^m (\Delta i)^2,$$

a_{ij} - ранг каждого i -го фактора у j -го исследователя;

m - число исследователей;

k - число факторов;

T - средняя сумма рангов.

Полученные данные позволяют построить среднюю априорную диаграмму рангов, но предварительно необходимо оценить степень согласованности мнений всех исследователей с помощью коэффициента конкордации w :

$$w = \frac{12s}{m^2(k^3 - k) - m \sum_1^m T_j},$$

$$\text{где } T_j = \sum (t_j^3 - t_j);$$

t_j - число одинаковых рангов в j -м ранжировании. Использовать коэффициент конкордации можно после оценки его значимости, которая возможна с помощью специальных таблиц или известных статистических распределений, например, величина $m(k-1)w$ имеет χ^2 -распределение с числом степеней свободы $f = k - 1$. Значение χ^2 -критерия определяют по формуле:

$$\chi^2 = \frac{12s}{mk(k+1) - \frac{1}{k-1} \sum_1^m T_j}.$$

Гипотеза о наличии согласия исследователей может быть принята, если при заданном числе степеней свободы табличное значение 5 %-го уровня значимости χ^2 меньше расчетного для 5 %-го уровня значимости.

Оценив согласованность мнений всех исследователей, строят среднюю диаграмму рангов, откладывая по одной оси факторы, а по другой соответствующие суммы рангов. Максимальная сумма рангов ставится в точке пересечения осей (рисунок 1). Чем меньше сумма рангов данного фактора, тем выше его место на диаграмме. С помощью последней оценивается значимость факторов. В случае неравномерного экспоненциального убывания распределения часть факторов можно исключить из дальнейшего рассмотрения, отнеся их влияние к шумовому полю. Если же распределение равномерное, то в эксперимент рекомендуется включать все факторы.

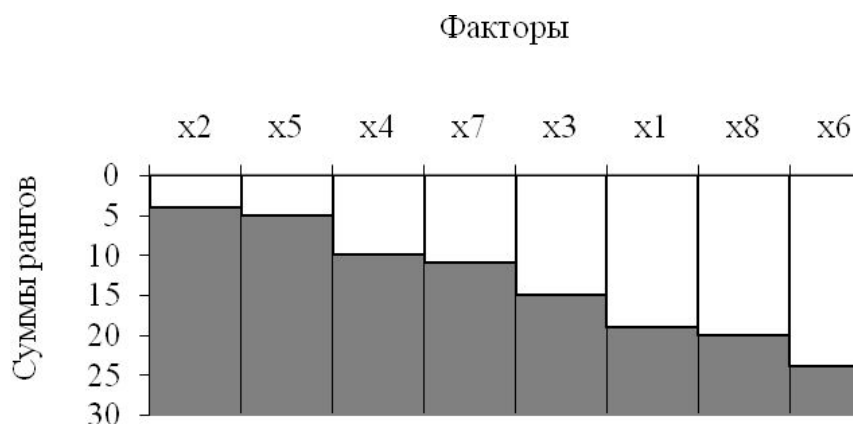


Рисунок 1 – Пример средней априорной диаграммы рангов

В ситуациях с очень большим числом факторов, кроме общей согласованности мнений исследователей, рассматривают с помощью χ^2 -распределения и согласованность по каждому фактору в отдельности.

Построение средней априорной диаграммы рангов по известным литературным данным полезно с той точки зрения, что она по существу является сокращенным литературным обзором по объекту исследования.

Контрольные вопросы:

- 1 Какими способами может быть осуществлен выбор факторов для проведения активного эксперимента?
- 2 В чем заключается метод априорного ранжирования факторов?
- 3 Что необходимо учесть эксперту, если он в равной мере оценивает силу влияния двух и более факторов?
- 4 Как рассчитывается средняя сумма рангов при обработке результатов априорного ранжирования?
- 5 С помощью чего рассчитывается степень согласованности мнений экспертов?
- 6 Как проверить гипотезу о наличии согласия экспертов, какой критерий при этом используется?
- 7 Этапы построения априорной диаграммы рангов.
- 8 Какие выводы позволяет сделать построение априорной диаграммы рангов?

Тема 6: ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Практическая работа №7 Матрица планирования эксперимента

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков планирования эксперимента с помощью построения матриц.

Общие положения

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом (ПФЭ). Если число уровней факторов равно двум, то имеем ПФЭ типа 2^k .

Условия эксперимента удобно записывать в виде таблицы, которую называют матрицей планирования эксперимента.

Таблица 4 Матрица планирования эксперимента 2^2

Номер опыта	x1	x2	y
1	+1	+1	y1
2	-1	+1	y2
3	+1	-1	y3
4	-1	-1	y4

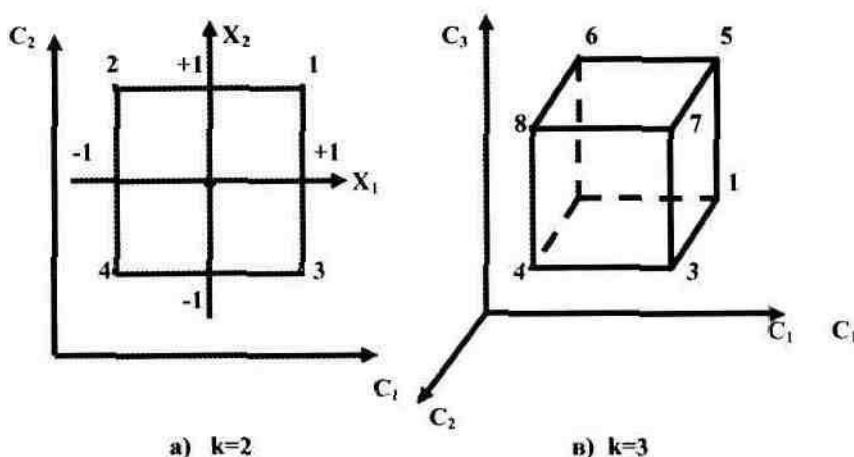
Матрица планирования для двух факторов приведена в табл. 6.1.

При заполнении матрицы планирования значения уровней факторов, в целях упрощения, обозначают соответствующими знаками, а цифру 1 опускают. С учетом взаимодействия факторов x1 и x2 таблицу 4 можно переписать следующим образом:

Таблица 5 Матрица планирования

Номер опыта	x1	x2	x1x2	y
1	+	+	+	y1
2	-	+	-	y2
3	+	-	-	y3
4	-	-	+	y4

Каждый столбец в матрице планирования называют вектор-столбцом, а каждую строку - вектор-строкой. Таким образом, в табл. 5 мы имеем два вектора - столбца независимых переменных, один вектор-столбец взаимодействия факторов и один вектор-столбец параметра оптимизации.



То, что записано в алгебраической форме, можно изобразить графически (рис. 2). В области определения факторов находится точка, соответствующая основному уровню, и проводят через нее новые оси координат, параллельные осям натуральных значений факторов. Далее выбирают масштабы по новым осям так, чтобы интервал варьирования для каждого фактора равнялся единице. Тогда условия проведения опытов будут соответствовать вершинам квадрата, при $k=2$, и вершинам куба, при $k=3$. Центрами этих фигур является основной уровень, а каждая сторона равна двум интервалам. Номера вершин квадрата и куба соответствуют номерам опытов в матрице планирования. Площадь, ограниченная этими фигурами, называется областью эксперимента. По аналогичному принципу располагаются экспериментальные точки при $k > 3$.

Рис. 2 Расположение точек в факторном пространстве для ПФЭ при $k=2$ и $k=3$

Если для двух факторов все возможные комбинации уровней легко найти перебором, то с ростом числа факторов возникает необходимость в некотором приеме построения матриц. Обычно используются три приема, основанные на переходе от матриц меньшей размерности к матрицам большей размерности.

Рассмотрим первый прием. При добавлении нового фактора каждая комбинация уровней исходного фактора встречается дважды, в сочетании с верхним и нижним уровнями нового фактора. Отсюда естественно появляется прием: записать исходный план для одного уровня нового фактора, а затем повторить его для другого уровня. Этот прием можно применить для матриц любой размерности.

Во втором приеме вводится правило перемножения столбцов матрицы. При построчном перемножении уровней исходной матрицы получаем дополнительный столбец произведения $x_1 \times x_2$, далее повторим исходный план, а у столбца произведений знаки поменяем на обратный. Этот прием применим для построения матриц любой размерности, однако он сложнее, чем первый.

Третий прием основан на чередовании знаков. В первом столбце знаки

меняются поочередно, во втором столбце они чередуются через два раза, в третьем - через четыре, в четвертом через восемь и т.д. по степеням двойки.

Пример построения матриц планирования р3 см. табл. 6.

Таблица 6 Матрица планирования эксперимента 23

Номер опыта	x ₁	x ₂	x ₃	y
1	+	+	+	y ₁
2	-	+	+	y ₂
3	+	-	+	y ₃
4	-	-	+	y ₄
5	+	+	-	y ₅
6	-	+	-	y ₆
7	+	-	-	y ₇
8	-	-	-	y ₈

Контрольные вопросы:

- 1 Какой эксперимент называется полным факторным?
- 2 Как называются столбцы и строки в матрице планирования?
- 3 Назначение и построение матриц планирования эксперимента.
- 4 Как можно графически изобразить факторное пространство и план эксперимента при k=2 и k=3?
- 5 Приемы определения всех возможных комбинаций уровней факторов.

План работы

- 1 По заданию построить и заполнить матрицу планирования, при этом для ПФЭ взять 3 фактора (на двух уровнях каждый) с наибольшей силой влияния на параметр оптимизации (см. априорную диаграмму рангов);
- 2 Все возможные комбинации уровней факторов определить с помощью третьего приема, указанного выше.

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 Заполнить рабочую матрицу, где указать конкретные значения уровней факторов;
- 2 Для статистической обработки данных выписать из задания результаты параметра оптимизации, полученные при проведении эксперимента в пяти повторностях.

Тема 7: ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Практическая работа №8

Параметры оптимизации и требования к ним

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков по выбору параметров

оптимизации при изучении объекта исследования.

Общие положения

1 Параметры оптимизации

Выбор параметров оптимизации (критериев оптимизации) является одним из главных этапов работы на стадии предварительного изучения объекта исследования, т.к. правильная постановка задачи зависит от правильности выбора параметра оптимизации, являющегося функцией цели.

Под параметром оптимизации понимают характеристику цели, заданную количественно. Параметр оптимизации является реакцией (откликом) на воздействие факторов, которые определяют поведение выбранной системы.

2 Требования к параметру оптимизации

Параметр оптимизации - это признак, по которому оптимизируется процесс. Он должен быть количественным, задаваться числом. Множество значений, которые может принимать параметр оптимизации, называется областью его определения. Области определения могут быть непрерывными и дискретными, ограниченными и неограниченными. Например, выход реакции - это параметр оптимизации с непрерывной ограниченной областью определения. Он может изменяться в интервале от 0 до 100%. Число бракованных изделий, число зерен на шлифе сплава, число кровяных телец в пробе крови - примеры параметров с дискретной областью определения, ограниченной снизу.

Количественная оценка параметра оптимизации на практике не всегда возможна. В таких случаях пользуются приемом, называемым ранжированием. При этом параметрам оптимизации присваиваются оценки - ранги по заранее выбранной шкале: двухбалльной, пятибалльной и т.д. Ранговый параметр имеет дискретную ограниченную область определения. В простейшем случае область содержит два значения (да, нет; хорошо, плохо). Это может соответствовать, например, годной продукции и браку.

Итак, первое требование: параметр оптимизации должен быть количественным.

Второе требование: параметр оптимизации должен выражаться одним числом. Например, регистрация показания прибора. Часто приходится проводить некоторые вычисления, например, пользоваться значением отклонений (или квадратов отклонений) от заданного числа.

Третье требование, связанное с количественной природой параметра оптимизации - однозначность в статистическом смысле. Заданному набору значений факторов должно соответствовать одно значение параметра оптимизации, при этом обратное неверно: одному и тому же значению параметра могут соответствовать разные наборы значений факторов.

Четвертым - является требование к его возможности действительно эффективно оценивать функционирование системы. Представление об объекте не остается постоянным в ходе исследования. Оно меняется по мере накопления информации и в зависимости от достигнутых результатов. Это приводит к последовательному подходу при выборе параметра оптимизации. Так, например,

на первых стадиях исследования технологических процессов в качестве параметра оптимизации часто используется выход продукта. Однако в дальнейшем, когда возможность повышения выхода исчерпан, начинают интересоваться такими параметрами, как себестоимость, чистота продукта и т.д. Иногда попытка добиться оптимума с учетом некоторого локального или промежуточного параметра оптимизации может оказаться неэффективной или даже привести к браку.

Пятое требование к параметру оптимизации - требование универсальности или полноты. Под универсальностью параметра оптимизации понимают его способность всесторонне охарактеризовать объект. В частности, технологические параметры недостаточно универсальны: они не учитывают экономику. Универсальностью обладают, например, обобщенные параметры оптимизации, которые строятся как функции от нескольких частных параметров.

Шестое требование: желательно, чтобы параметр оптимизации имел физический смысл, был простым и легко вычисляем.

Требование физического смысла связано с последующей интерпретацией результатов эксперимента. Не представляет труда объяснить, что значит максимум извлечения, максимум содержания ценного компонента.

Контрольные вопросы:

- 1 Что понимается под параметром оптимизации?
- 2 Что называется областью определения параметра оптимизации?
- 3 Какими могут быть области определения параметра оптимизации?
- 4 В каких случаях возможна количественная оценка параметра оптимизации и в чем она заключается?
- 5 Какие требования учитываются при выборе параметров оптимизации?
- 6 Что понимается под однозначностью параметра оптимизации в статистическом смысле?
- 7 Объясните требование к параметру оптимизации об эффективности оценивания функционирования системы.
- 8 Что подразумевается под универсальностью и полнотой параметра оптимизации?
- 9 Что означает физический смысл параметра оптимизации?

План работы

- 1 Получить от преподавателя и зарегистрировать в журнале номер группового (не более 2 чел.) задания.
- 2 Внимательно изучить задание, дать понятие параметру оптимизации.
- 3 Определить пределы возможного варьирования и границы областей определения параметра оптимизации.

4 Установить единицу, способ и точность измерения параметра оптимизации.

5 Обсудить в группе правильность выбора параметра оптимизации по исследуемому процессу в задании.

Номер индивидуального или группового задания определяет преподаватель по данной дисциплине с обязательной регистрацией в журнале.

Задание 1

На pH сыра «Советский» от 5,5-6 при его созревании оказывают влияние следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X1	Внесение бактерий <i>L. plantarum</i> , г/5000 л	0,25-0,35
X2	Внесение сухой культуры пропиновокислых бактерий, гр/5000 л (2)	0,3-2
X3	Внесение термофильных культур (препарат ТМБ), %	0-0,075
X4	Внесение сыворотки, %	20-40
X5	Нагревание при свертывании, 0С	30-34
X6	Обработка сырного зерна, мин	20-60
X7	Второе нагревание, 0С (1)	48-58
X8	Второе нагревание, мин	20-35
X9	Вымешивание зерна, мин (3)	30-60

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
1	5,501	5,507	5,509	5,503	5,505
2	5,581	5,589	5,593	5,585	5,584
3	5,553	5,558	5,561	5,557	5,555
4	5,659	5,663	5,668	5,660	5,661
5	5,535	5,539	5,542	5,541	5,537
6	5,629	5,633	5,638	5,631	5,635
7	5,605	5,607	5,612	5,607	5,61
8	5,678	5,685	5,695	5,693	5,688

На размер жировых шариков от 0,1-1,0 мкм при гомогенизации молока влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X1	Плотность молока, г/см ³	1,023-1,027
X2	Кислотность, оТ	16-19
X3	Содержание соматических клеток в 1 мм ² , шт.	1000-2500
X4	Содержание сухого вещества, %	10-15
X5	Массовая доля белка, %	2,0-3,0
X6	Массовая доля жира, % (3) негат.	3,0-3,8
X7	Содержание молочного сахара (лактоза), %	4,0-5,3
X8	Давление при гомогенизации, мПа (1) негат.	10-20
X9	Температура гомогенизации, оС (2) негат.	60-70

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
1	0,27	0,29	0,35	0,30	0,34
2	0,56	0,60	0,67	0,60	0,66
3	0,47	0,50	0,56	0,49	0,55
4	0,85	0,91	0,95	0,90	0,94
5	0,37	0,40	0,47	0,41	0,46
6	0,74	0,78	0,85	0,81	0,84
7	0,64	0,69	0,75	0,70	0,74
8	0,92	0,99	1,05	1,01	1,04

На кислотность творога 15% жирности от 170-220 °Т при производстве кислотным способом влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X1	Продолжительность сквашивания, ч (2) позитивн.	6-8
X2	Кислотность обезжиренного молока, ОТ	18-20
X3	Температура пастеризации молока-сырья, оС	78-80
X4	Влажность готового творога, %	60-65
X5	Количество внесенной молочнокислой закваски, % (1) позитивн.	1,0-5,0
X6	Температура заквашивания, оС (3) позитивн.	28-32
X7	Время прессования сгустка, ч	1-4
X8	Температура в помещении при прессовании творога, оС	3-8
X9	Температура хранения в камере, оС	6-8

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
1	218,1	219,6	220,6	219,1	220,1
2	192,2	191,4	192,7	192,2	190,7
3	203,3	204,4	205,8	203,7	205,1
4	180,3	182,1	182,6	181,9	181,1
5	209,5	210,5	212,0	211,7	210,9
6	185,4	186,5	187,9	187,1	186,8
7	197,7	199,3	200,2	199,6	198,2
8	170,1	171,3	172,5	170,9	172,2

На кислотность сметаны 10 % жирности от 80-90 °Т при производстве влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X1	Температура пастеризации нормализованных сливок, оС	84-88
X2	Время выдержки сливок при пастеризации, мин	2-10
X3	Температура выдержки пастеризованных сливок 2 часа, оС	2-6
X4	Температура нагревания пастеризованных сливок, оС	20-26
X5	Количество внесенной молочнокислой закваски, % (3) позитивн.	2-5
X6	Время вымешивания заквашенных сливок, мин	10-15
X7	Температура выдержки упакованной сметаны в термостате, оС (2) позитивн.	20-26
X8	Продолжительность сквашивания упакованной сметаны, ч	15-16
X9	Время охлаждения и созревания сметаны, ч (1) позитивн.	6-12

Таблица 2 - Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
1	89,4	89,6	90,0	89,8	89,5
2	85,5	85,9	86,1	85,6	85,8
3	86,6	86,8	87,1	87,0	86,9
4	81,3	81,5	81,9	81,4	81,8
5	88,1	88,3	88,7	88,5	88,4
6	83,0	83,4	83,6	83,5	83,3
7	83,8	84,2	84,4	84,3	84,9
8	80,5	80,6	81,0	80,8	80,7

Задания для самостоятельного выполнения

1 Исследовать параметр оптимизации с помощью литературных источников, уточнить пределы возможного варьирования, единицу, способ и точность измерения.

2 Описать параметр оптимизации с учетом вышеперечисленных требований.

Тема 9: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК.

Практическая работа №9

Представление результатов проведенных исследований и разработок

Цель: формирование знаний о различных форматах представления результатах проведенных исследований

Основные положения

Форматы представления результатов проведенных исследований включают отчет, научную статью, доклад, презентацию.

Научная статья – это непосредственное изложение результатов проведенных исследований. В зависимости от назначения научные статьи подразделяются на виды:

– научно-теоретические. Эти публикации чаще всего посвящены теоретическому поиску, объяснению каких-либо закономерностей определенного явления. Это некая база, предназначенная для абсолютно любого исследования. В научно-теоретических статьях описываются закономерности, эксперименты и события;

– научно-практические. Этот вид публикаций основывается на реальных экспериментах. Здесь происходит объяснение методов и средств осуществления экспериментальных исследований, описываются способы наблюдения за ними. Обязательное требование к такой статье – подробное изложение итоговых результатов, подкрепленное соответствующими иллюстрациями, схемами или графиками;

– научно-методические. Задача данных статей – это обзор наблюдаемых процессов, описания конкретных методов и инструментов.

Также существует классификация научных статей по стилю изложения материала.

Научные статьи могут быть аналитическими. Их цель – анализ и исследование фактов, которые могут привести к решению конкретной проблемы или вопроса. Аналитические статьи – это исторические очерки, научно-технические материалы, теоретические рассуждения и т. д.

Еще один вид – информационная статья. Цель такой публикации – доведение основного материала или информации о конкретном событии до желаемой аудитории. В данных текстах осуществляется изложение научных работ

независимых авторов. Материал излагается четко и без каких-либо лишних обоснований.

Также результаты исследований могут быть интегрированы в учебный процесс по основным профессиональным образовательным программам и дополнительным профессиональным программам.

Контрольные вопросы

1. Порядок оформления текста научно-исследовательской работы.
2. Требования к оформлению рукописи научной статьи.
3. Порядок цитирования и проверки на плагиат.
4. Оформление библиографического списка.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические рекомендации
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине **МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**
для студентов направления подготовки
19.04.01 Биотехнология

Направленность (профиль): «Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств»

Введение

Освоение программы дисциплины предполагает освоение теоретических знаний и формирование навыков их практического применения.

Самостоятельная работа студентов – важнейшая составная часть занятий, необходимая для полного усвоения программы курса.

Целью самостоятельной работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами на лекциях, подготовке к текущим лабораторным работам, промежуточным формам контроля знаний и к итоговому контролю.

Дидактические цели самостоятельных занятий:

- формирование профессиональных умений;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- мотивирование регулярной целенаправленной работы по освоению дисциплины;
- развитие самостоятельности мышления;
- формирование убежденности, волевых черт характера, способности к самоорганизации.

Методическое обеспечение самостоятельной работы дисциплине состоит из:

- определения учебных вопросов, которые студенты должны изучить самостоятельно;
- подбора необходимой учебной литературы, обязательной для проработки и изучения;
- поиска дополнительной научной литературы, к которой студенты могут обращаться по желанию, если у них возникает интерес в данной теме;
- определения контрольных вопросов, позволяющих студентам самостоятельно проверить качество полученных знаний;
- организации консультаций преподавателя со студентами для разъяснения вопросов, вызвавших у студентов затруднения при самостоятельном освоении учебного материала.

Самостоятельная работа студента – это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как: уяснение цели и поставленной учебной задачи; четкое и системное планирование самостоятельной работы; поиск необходимой учебной и научной информации; освоение собственной информации и ее логическая переработка; проведение самоанализа и самоконтроля.

Основные виды самостоятельных работ по учебной дисциплине:

работа с понятийным аппаратом; поисковая работа с различными источниками; составление аннотированного списка литературы по проблеме.

Контроль знаний студентов включает формы текущего и итогового контроля.

Текущий контроль осуществляется в процессе изучения курса и включает в себя оценку работы студентов на лабораторных работах.

1 Общая характеристика самостоятельной работы

Целью изучения дисциплины «Методология научных исследований» является формирование профессиональных компетенций будущего магистра в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 19.04.01 - Биотехнология, направленность (профиль) – Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств.

Задачи дисциплины состоят в изучении на базе фундаментальных законов физики и химии общих процессов, протекающих в различных пищевых производствах, изучении современных аппаратов, общих методов их расчёта, путей рационализации процессов, выбора оптимальных конструкций аппаратов в конкретных производствах, в освещении основных технических проблем, научных достижений и современных тенденций использования новых физических методов обработки пищевых продуктов в тесной взаимосвязи с вопросами технологии.

Цели и задачи самостоятельной работы. Самостоятельная работа направлена на решения ряда задач, к которым относятся:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и лабораторных умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умения использовать справочную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов;
- творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Актуальность: Работа выпускника в современных условиях обуславливает необходимость изучения принципиальных подходов к изучению дисциплины. Знания, полученные в рамках изучения дисциплины необходимы на протяжении всей профессиональной деятельности.

Виды самостоятельной работы

Рабочей программой по дисциплине предусмотрено самостоятельное изучение материалов в т. ч. по темам лабораторных работ. Для успешного выполнения данного вида работ, необходимо самостоятельно детально изучить материалы представленных тем по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Рекомендуемые источники информации (№ источника)			
		Основная	Дополнительная	Методическая	Интернет-ресурсы
1	Подготовка к лекции	1, 2	1	1,2	1
2	Подготовка к лабораторному занятию	1, 2	1	1,2	1
3	Подготовка к практическому занятию	1, 2	1	1,2	1
5	Самостоятельное изучение литературы	1, 2	1	1,2	1

При изучении материалов по каждой теме необходимо составить краткий конспект наиболее важной информации.

Работа с конспектом лекций.

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попробуйте найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам.

Помимо самостоятельного изучения материалов по темам к самостоятельной работе студентов относится подготовка к лабораторным работам по результатам которой студент представляет отчет преподавателю и проходит собеседование.

При самостоятельной подготовке к лабораторной работе студент:

- организует свою деятельность в соответствии с методическим руководством по выполнению лабораторных работ;
- изучает информационные материалы;
- подготавливает и оформляет материалы лабораторных работ в соответствии с требованиями.

В результате выполнения указанных видов самостоятельной работы происходит **формирование компетенций** представленных ниже:

Код	Формулировка
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
ОПК-3	Способен разрабатывать алгоритмы и участвовать в разработке программ в сфере своей профессиональной деятельности
ОПК-6	Способен разрабатывать и применять на практике инновационные решения в научной и производственной сферах биотехнологии на основании новых знаний и проведенных исследований, с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
ПК-1	Способность к проведению научно-исследовательской, проектно-технологической и маркетинговой деятельности в области разработки новых видов биотехнологической и пищевой продукции

2 План-график выполнения самостоятельной работы

Правильная организация самостоятельной работы и ее систематичность, позволяет развивать умения и навыки; проводить систематизацию полученных знаний, обеспечивать высокий уровень успеваемости в период обучения, получить навыки повышения профессионального уровня.

3. Методические рекомендации по изучению теоретического материала

При изучении дисциплины у студентов должен вырабатываться рационально-критический подход к изучаемым проблемам и явлениям. Это включает понимание того, что со временем ряд информационных и теоретических материалов устаревает, требуя критического отношения. С другой стороны, каждый текущий вопрос имеет свою историю, которую тоже полезно знать.

Чтобы понять содержание теоретического материала, нужно уметь его прочитывать. Начинать следует с предварительного просмотра, в ходе которого ознакомиться с названием работы, с аннотацией, оглавлением, предисловием. Часто замысел работы ясен уже при ознакомлении с ее названием. Но особенно интересен просмотр оглавления, в результате которого становится ясным развитие мысли автора. Неплохо было бы появившиеся при этом мысли зафиксировать на бумаге.

Просматривая текст оглавления, нужно остановиться на тех главах, которые представляют для вас особенный интерес, бегло ознакомиться с ними, составляя в общих чертах свое представление о них. Цель этого действия – найти места, относящиеся к искомой теме, определив при этом, что ценного в каждом из них.

Следующий этап – прочтение выделенных мест с фиксацией самых главных сведений. При этом надо четко и ясно осознавать цель чтения, постоянно держа ее перед собой: по какому вопросу нужна информация, для чего нужна, ее характер и т.д. необходимо менять режим чтения – от беглого вдумчивого – в зависимости от ценности информации, останавливаясь там, где это требуется для глубокого понимания текста.

Следует научиться определять структуру текста по соподчиненности его частей, учитывая взаимосвязь текста с рисунками, сносками, примечаниями и таблицами. Все это поможет пониманию текста при беглом ознакомлении с ним. Так вырабатывается способность при прочтении сразу понимать смысл и значение новой информации.

Многие книги и статьи имеют в своем аппарате списки литературы, которые дают возможность пополнить информационную осведомленность о дополнительной литературе по данному вопросу.

Отдельный этап прочтения – ведение записей прочитанного. Существует несколько видов записей: план, выписки, тезисы, аннотация, резюме, конспект.

Планом удобно пользоваться при подготовке к устному выступлению по выбранной теме. Каждый пункт плана должен раскрывать одну из сторон избранной темы, а весь план должен охватывать ее целиком.

Тезисы предполагают сжатое изложение основных положений текста в форме утверждения или отрицания. Они являются более совершенной формой записей и представляют основу для дискуссии. К тому же их легко запомнить.

Аннотация – краткое изложение содержания – дает общее представление о работе.

Резюме кратко характеризует выводы, главные итоги произведения.

Конспект является наиболее распространенной формой ведения записей. Основную ткань конспекта составляют тезисы, дополненные доказательствами и рассуждениями. Конспект может быть текстуальным, свободным или тематическим. Текстуальный представляет собой цитатник с сохранением логики работы и структуры текста. Свободный конспект основан на изложении материала в том порядке, который более удобен автору. В этом смысле конспект представляет собирание воедино мыслей, разбросанных по всей книге. Тематический конспект может быть составлен по нескольким источникам, где за основу берется тема, интерпретируемая по-разному.

Экономия времени дает использование при записях различного рода сокращений, аббревиатуры и т.д. многие используют для регистрации исследуемых тем систему карточек. Преимущество карточек в том, что тема там излагается очень сжато, и они очень удобны в использовании, т.к. их можно разложить на столе, перегруппировать и без труда найти искомую тему.

4. Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой

Работа на лекции является очень важным видом студенческой деятельности для изучения дисциплины «Проектирование предприятий общественного питания», т.к. на лекции происходит не только сообщение новых знаний, но и систематизация и обобщение накопленных знаний, формирование на их основе идейных взглядов, убеждений, мировоззрения, развитие познавательных и профессиональных интересов. Лектор ориентирует студентов в действующем законодательстве Российской Федерации и соответственно в учебном материале.

Краткие записи лекций (конспектирование) помогает усвоить материал. Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Конспект лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Принципиальные места, определения, формулы следует сопровождать замечаниями: «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. или подчеркивать красной ручкой. Целесообразно разработать собственную символику, сокращения слов, что позволит сконцентрировать внимание студента на важных сведениях. Прослушивание и запись лекции можно производить при помощи современных устройств (диктофон, ноутбук, нетбук и т.п.).

Работая над конспектом лекций, всегда следует использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор, в том числе нормативно-правовые акты соответствующей направленности. По результатам работы с конспектом лекции следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывают трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на лабораторной работе.

Лекционный материал является базовым, с которого необходимо начать освоение соответствующего раздела или темы.

В процессе подготовки к лабораторной работе студент знакомится с рабочей программой дисциплины, темами и планами лабораторных работ, уделяя особое внимание целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины, проводит анализ основной нормативно-правовой и учебной литературы, после чего работает с рекомендованной дополнительной литературой.

Формы организации лабораторных работ определяются в соответствии со специфическими особенностями учебной дисциплины и целями обучения. При устном выступлении по контрольным вопросам студент должен излагать (не читать) материал выступления свободно. Необходимо концентрировать свое внимание на том, что выступление должно быть обращено к аудитории, а не к преподавателю, т.к. это значимый аспект профессиональных компетенций выпускника.

По окончании занятия студенту следует повторить выводы, проследив логику их построения, отметив положения, лежащие в их основе. Для этого студенту в течение лабораторной работы следует делать пометки. Более того, в случае неточностей и (или) непонимания какого-либо вопроса пройденного материала студенту следует обратиться к преподавателю для получения необходимой консультации и разъяснения возникшей ситуации.

Для подготовки к зачету необходимо выполнить цикл лабораторных работ, тщательно изучить и проанализировать теоретические сведения по каждому виду работ. При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования основной и дополнительной литературой, научными статьями, а также ресурсами сети интернет.

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы

1. Методология научных исследований Электронный ресурс / Королев Е. В., Иноземцев А. С., Гришина А. Н., Иноземцев С. С., Смирнов В. А. : учебное пособие для обучающихся магистратуры по всем угсн, реализуемым ниу мгу, обучающихся специалитета по направлению подготовки 08.05.01 строительство уникальных зданий и сооружений. - Москва : МИСИ – МГСУ, 2020. - 104 с. - ISBN 978-5-7264-2088-2, экземпляров неограничено
2. Ренгольд, О. В. Методология научных исследований Электронный ресурс / Ренгольд О. В. : учебно-методическое пособие. - Омск : СибАДИ, 2019. - 46 с., экземпляров неограничено

Перечень дополнительной литературы:

Лапаева, М. Г. Методология научных исследований Электронный ресурс : Учебное пособие / М. Г. Лапаева, С. П. Лапаев. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. - 249 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-7410-1791-3, экземпляров неограничено

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине Методология научных исследований. Направление подготовки 19.04.01 Биотехнология, направленность (профиль) Промышленная биотехнология». Квалификация выпускника - магистр. Ставрополь, СКФУ, 2023.
2. Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине Методология научных исследований. Направление подготовки 19.04.01 Биотехнология, направленность (профиль) Промышленная биотехнология». Квалификация выпускника - магистр. Ставрополь, СКФУ, 2023.
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине Методология научных исследований. Направление подготовки 19.04.01 Биотехнология, направленность (профиль) Промышленная биотехнология». Квалификация выпускника - магистр. Ставрополь, СКФУ, 2023.

3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - www.biblioclub.ru (Договор № 50-04/19 об оказании информационных услуг от 13.05.2019г.)
---	--

2	Электронная библиотечная система «IPRbooks» (ЛИЦЕНЗИОННЫЙ ДОГОВОР № 5168/19 от 13.05.2019 г. на предоставление доступа к электронно-библиотечной системе IPRbooks. Организация: ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа»)
3	«eLIBRARY.RU»: [Научная электронная библиотека]. – URL: http://elibrary.ru
4	Информационно-правовой портал "Гарант" - http://www.garant.ru/
5	Справочно-правовая система Российское законодательство и судебная практика в свободном доступе - http://www.pravo.ru/