

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению практических и самостоятельных работ
по дисциплине
«Методология научных исследований»
для направления подготовки
22.04.02 «Металлургия»
(уровень магистратуры)

Составитель:
А.М. Рабинович

Владимир 2019

УДК 65.012.122

Рецензент
главный технолог ООО «Казанское литейно-инновационное
объединение» Е.В. Бельмисова

Рекомендуется к изданию по решению кафедры ТФиКМ
(протокол № 3 от 15.11.2019 г.)

Рассмотрены и одобрены на заседании УМК направления 22.04.02
«Методология научных исследований» (уровень магистратуры)
протокол № 3 от 15.11.2019 г.

Методические указания к выполнению практических и самостоятель-
ных работ по дисциплине «Методология научных исследований» для
направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» (уровень магистрату-
ры)/ Сост.: А. М. Рабинович. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г.
Столетовых. – Владимир, 2019 – 32 с.

Содержат методические указания к выполнению практических и са-
мостоятельных работ по курсу «Методология научных исследований».

Составлены по дисциплине «Методология научных исследований»
для направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» (уровень магистрату-
ры) по программе «Металлургия».

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью освоения дисциплины «Методология научных исследований»: систематизировать и вооружить студентов (магистрантов) теоретическими знаниями и практическими навыками, по возможности облегчить процесс подготовки основных видов научных работ в соответствии с требованиями ОПОП для магистратуры направления 22.04.02 «Металлургия».

Задачи:

— познание и выработка компетентного, творческого подхода в синтезе наиболее рациональных аспектов существующих методик научного исследования для последующей практической подготовки магистратских выпускных квалификационных работах по выбранной тематике;

— изучение и выбор методологических основ решения типовых научно-производственных задач методами математического планирования и статистической обработки результатов эксперимента при анализе проблем литейного производства.

В табл. 1 представлены планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП.

Таблица 1

Планируемые результаты обучения

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
ОПК-5	Частичное	Знать: существующие методики научного исследования; суть изучаемой проблемы (задачи); основные требования к различным видам научной работы, а также методические рекомендации по их разработке. Уметь: оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в отрасли металлургии и смежных областях. Владеть общими вопросами методологии научного исследования.
ПКО-1	Частичное	Знать: смысл физических величин и методы их измерения, смысл известных физических законов, принципов, постулатов и теоретических моделей разрабатываемого проекта; Уметь: выбирать методы планирования, подготовки и проведения исследований, наблюдений. Владеть новыми способами решения задач проекта, которые ранее в данной предметной области не использовались, и которые дают существенный научный и практический эффект, хотя и базируются на известных обычно в фундаментальных науках закономерностях.

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
ПКО-2	Частичное	<p>Знать основы современных методологических подходов к постановке и обработке результатов физико-химических, металловедческих исследований и математических методов, применяемых при планировании и оптимизации эксперимента в лабораторных и промышленных условиях.</p> <p>Уметь: планировать, проводить подготовку и проведение экспериментов, анализировать, обобщать и представлять результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты; моделировать процессы различных обработок материалов с использованием стандартных пакетов компьютерных программ Microsoft Excel.</p> <p>Владеть: навыками обработки экспериментальных результатов и математического планирования эксперимента; построения моделей дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов; основами математического планирования эксперимента; приёмами поиска и решения проблем в профессиональной области, включая постановку эксперимента, анализ и интерпретацию данных.</p>

Методические указания к практическим занятиям

Цель практических занятий – приобрести профессиональные знания, умения, навыки, сформировать ранее изложенные компетенции дисциплины в результате активной творческой работы в процессе решения кейсов, предложенных преподавателем.

1. Содержание практических занятий по дисциплине

Темы 2.4, 3.3. (по 2 часа). Анализ и поиск критериев однозначной оценки при контроле качества отливок из вторичного сырья и оценке в целом уровня литья цеха.

Последовательность выполнения.

В форме собеседования преподаватель выдаёт всей группе проблемное задание (кейс №1), в котором студентам предлагается осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, требующую решения методами математической статистики и планирования эксперимента. Так, например, для обеспечения конкурентоспособности продукции цветнолитейного цеха требуются мониторинги технологических процессов каждого передела изготовления литья и производства продукции в целом, оценки уровня технологии цветнолитейного цеха, работы оборудования;

осуществляются внедрения новых материалов, покрытий; внедряются новые способы литья, обработки отливок; разрабатываются новые режимы термообработки и многое другое. Из всего вышеназванного многообразия предлагается остановиться на вопросе качества литья вторичных алюминиевых сплавов как объекте пассивного исследования. На первом этапе требуется выбрать **параметры оптимизации**. Студентам в рамках СРС (темы 1 – 4) следует предварительно проработать методологические основы выбора показателей качества металла отливок как критериев контроля и оценки технологии их производства. Обсудить на занятии взаимосвязи различных показателей качества металла друг с другом и возможности с их помощью осуществления контроля качества металла в отливках и чушках. Отдельно остановиться на вопросе построения плана промышленного пассивного эксперимента при исследовании зависимости размерной стойкости резца от качества обрабатываемой отливки в процессе её механической обработки. Сформулировать **цели, задачи, объект исследования, выбранные параметры оптимизации, факторы, влияющие на объект исследования, описать методику проведения подобного эксперимента**. Преподаватель помогает максимально приблизиться к материалам реального эксперимента, выборку которого выдаёт в конце занятия. Последующие практические работы дисциплины строятся на базе выборки темы 2.4. и демонстрируют круг задач, решение которых возможно при наличии данной выборки. Таким образом, каждая практическая работа входит в состав кейса и раскрывает разные его стороны, расширяет познания о предмете исследования.

СРС к следующему занятию: **тема 5**.

Тема 4.1.(4 часа) Практическое и теоретическое обоснование возможности применения методов статистической обработки при решении поставленной ранее проблемы.

Цель. Обосновать правомерность применения методов статистической обработки для ранее полученных выборок. Познать критерии согласия и освоить процедуры их применения.

Исполнение. Оценить по χ^2 критерию Пирсона, либо критерию Колмогорова-Смирнова, **подчиняется ли ранее полученная выборка нормальному закону распределения?** Если нет – проверить выборку на наличие грубых ошибок и привести её к нормальному виду распределения. Для вычислений этой и всех последующих работ воспользоваться компьютерными методами статистической обработки результатов инженерного эксперимента с использованием статистических функций распространенного пакета Microsoft Excel (в составе Microsoft Office) пакета STATISTICA.

СРС к следующему занятию: **темы 6 – 8**.

Тема 4.2. (4 часа) Методы и процедуры оценки факторов, влияющих на выбранный процесс механической обработки литья и позволяющие построение обобщённой выборки по времени процесса механической обработки отливки.

Цель. Обосновать возможность построения обобщённых выборок исследуемых процессов. Изучить метод дисперсионного анализа.

Суть задачи. Так как выборка темы 2.4. слагается из последовательности малочисленных выборок, отличающихся друг от друга только наличием переналадок автоматической линии, требуется доказать, что *переналадки не внесли существенной роли на величину расточки внутреннего диаметра отливки станины*. Влияние этого фактора в пределах общей погрешности эксперимента и в дальнейших исследованиях может не учитываться. В противном случае следует либо анализировать каждую выборку отдельно, если она подчиняется нормальному закону распределения, либо, основываясь на физической сути переналадки, искусственно уменьшить её роль внося соответствующие коррективы в выборку и доказав правомерность подобного рода действий. Студентам предлагается обсудить и выработать общее решение действий.

Последовательность выполнения.

— *Обосновать правомерность применения метода однофакторного дисперсионного анализа* для всего массива данных. С этой целью проверить дисперсии каждой из выборок на однородность. В случае отрицательного результата, методом отсева грубых ошибок, скорректировать выборки и добиться их однородности.

— *Провести однофакторный дисперсионный анализ.*

— В случае установления влияния переналадок, *скорректировать выборку*, в соответствии с выработанным коллективным решением.

СРС к следующему занятию: *темы: 9 – 11.*

Тема 4.3. (4 часа) Построение модели исследуемого процесса по обобщённой выборке.

Цель. Изучить методы корреляционного и регрессионного анализа.

Даны: ранее построенные выборки.

Требуется: *установить, либо отвергнуть взаимосвязь между величиной отклонения от номинального размера диаметра отливки при её механической обработке резцом на автоматической линии от количества проточенных отливок*. В случае положительного результата построить модели процессов и рассчитать величины размерной стойкости резца при механической обработке разных партий отливок.

Последовательность выполнения.

— **Провести корреляционный анализ** (построение рядов наблюдений; расчёт выборочного коэффициента парной корреляции и коэффициентов линейной регрессии; определение значимости коэффициента парной корреляции).

— **Регрессионный анализ** при необходимости (расчёт доверительных интервалов для коэффициентов линейной регрессии; проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии; проверка адекватности линейной модели; расчёт размерной стойкости резца для каждой партии отливок).

СРС к следующему занятию: окончательное оформление заданий по кейсу №1.

Тема 4.4. (2 часа) Варианты быстрого сравнения рядов экспериментальных данных. Выводы по результатам изучения проблемы «однозначного контроля качества литья разных плавок из вторичного сырья».

Цель. Освоить процедуру проверки гипотез о числовых значениях математических ожиданий. Оценить качество контрольной и экспериментальной партии отливок методами математической статистики; выработка навыка формирования и аргументации собственных суждений и научной позиции при толковании результатов математического планирования.

Исполнение. Сделать выводы о соответствующих генеральных значениях математических ожиданий, дисперсий. Проведение процедуры ТТЕСТ. Построение доверительного интервала. Выводы и рекомендации по работе в целом.

Требуется: на основании сделанного исследования обосновать правомерность применения величины размерной стойкости резца в процессе механической обработки отливки как показателя качества металла отливок; оценить качество отливок станин электродвигателей и в целом уровня технологии производства литья цветнолитейного цеха; составить рекомендации по совершенствованию технологического процесса и обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Последовательность выполнения: сравнить выборки контрольной и опытной партий отливок по величинам дисперсий и математических ожиданий; по размерной стойкости резцов; ТТЕСТ; составление рекомендаций и выводов по проделанной части работ.

СРС к следующему занятию: подготовка к защите семестрового плана СРС и работы над кейсом №1.

Тема 5.1. (2 часа) Постановка задачи активного эксперимента по заданию преподавателя.

Цель. Изучить методологические основы построения активного эксперимента. **Понять основную идею факторного анализа.**

Последовательность выполнения.

В форме собеседования преподаватель выдаёт всей группе проблемное задание (кейс № 2), в котором студентам предлагается осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, требующую решения методами математической статистики и планирования эксперимента. В качестве такого кейса может выступать проблема: «Повышение уровня механических свойств вторичных силуминов путём рационализации их состава и режимов термической обработки». Широкий диапазон изменения химического состава вторичных сплавов обуславливает разное соотношение избыточных фаз в их структуре, что, в свою очередь, требует выбора различных режимов термической обработки.

Студентам предлагается обсудить:

— пути и методы отбора основных факторов на примере марок сплавов АК5М2 и АК5М7;

— практическое применение методов планирования эксперимента в цветнолитейном производстве;

— методику решения кейса, идя от простого к сложному: от ПФЭ к ДФЭ, отсеву малозначимых факторов, от линейного планирования к планированию второго порядка и, наконец, к плану Хартли, как наиболее экономичного, который для шести факторов требует всего 29 опытов.

Результатом обсуждения должен стать примерный алгоритм решения кейса, который должен лечь в основу дальнейших практических работ II семестра изучения дисциплины.

СРС: темы 12- 13.

Тема 5.2. (2 часа) Выбор значимых факторов для решения поставленной задачи методом «априорного ранжирования».

Цель. Приобретение понятий о методах экспертных оценок. Изучить метод «априорного ранжирования».

Требуется: Выбрать методом априорного ранжирования из девяти факторов, определяющих химический состав сплава, три по степени их влияния на процесс получения сплава с высоким уровнем механических свойств из вторичного сырья.

Центральные вопросы работы: основная идея факторного анализа; понятие о методах экспертных оценок.

Последовательность выполнения: выбор факторов; выбор источника информации (5 специалистов); ранжирование факторов; обработка полученных результатов; определение согласованности мнений специалистов; построение диаграммы рангов; выбор наиболее значимых факторов.

СРС к следующему занятию: *тема 14 – 15.*

Тема 5.3. (6 часов) Построение и анализ линейной модели эксперимента, как метода исследования проблемы, предложенной преподавателем.

Цель. Получить опыт построения математической модели первого порядка. Изучение свойств плана: полнота, насыщенность, симметричность, нормированность, ортогональность.

Центральные вопросы работы: основы разработки и анализа матрицы линейного планирования эксперимента; свойства плана: полнота, насыщенность, симметричность, нормированность, ортогональность. Оценка области применимости построенной линейной модели.

Последовательность выполнения:

— По результатам темы 5.2. окончательно определиться с выбором параметров оптимизации, выбором основного уровня и интервалов варьирования факторов, их кодированием.

— Изучить принципы построения матрицы планирования эксперимента путём:

- Составления матрицы планирования для ПФЭ в кодированном виде.
- Преобразования ранее построенной матрицы с учетом подобранных под задачу генерирующих соотношений.
- Перехода к матрице ДФЭ и тем самым сокращения количества опытов до минимума необходимого.

— Провести построение многофакторной линейной модели по результатам эксперимента и сделать её анализ.

СРС к следующему занятию: *тема 16.*

Тема 5.4. (6 часов) Преобразование плана эксперимента и вновь его реализация для моделей, отобранных анализом в предыдущей практической работе как требующих дальнейшего совершенствования.

Студентам предлагается: обосновать необходимость создания модели второго порядка и построить матрицу планирования на базе уже проделанных опытов.

Центральный вопрос работы: планирование эксперимента второго порядка.

Цель. Получить опыт построения моделей второго порядка при обработке инженерного эксперимента.

Последовательность выполнения:

— Выбор «звёздного плеча» α для расширения области исследований и построения модели второго порядка.

— Достроить линейную матрицу планирования эксперимента до плана Хартли второго порядка, как наиболее экономичного.

— Построить модель объекта исследования второго порядка и сделать её анализ.

СРС к следующему занятию: **тема 17.**

Тема 5.5. (2 часа) Решение задач оптимизации исследуемого объекта с помощью ранее полученных моделей математического планирования эксперимента.

Требуется: на базе ранее построенных математических моделей найти область химического состава сплава и режимов термообработки, при которых прочность сплава максимальна и превосходит типичный уровень свойств исследованной марки сплава при уровне пластичности не менее 1%.

Студентам предлагается: аналитическими методами провести оптимизацию сплава, а также теоретически рассмотреть другие альтернативные варианты поиска оптимума методами планирования эксперимента.

Цель. Получить опыт анализа моделей второго порядка и поиска областей, соответствующих требуемому уровню параметра оптимизации.

Последовательность выполнения: анализ моделей и составление рекомендаций и выводов по проделанной части работ.

СРС к следующему занятию: подготовка к зачету и защите работ по кейс-задачам. Выводы и рекомендации при защите должны быть подкреплены соответствующими распечатками и расчётными формулами программ Microsoft Excel или пакета STATISTICA с чётким изложением алгоритма решения проблемы в целом по каждому разделу и обоснованием правомерности выбранного решения.

2. Пример краткого описания промышленного эксперимента для решения практических задач кейса № 1

Краткое описание сути проблемы (кейса).

Опыт промышленного использования вторичных алюминиевых сплавов доказывает, что современная выбранная система показателей контроля качества металла не даёт однозначной оценки качеству чушек разных плавов и, следовательно, не может гарантировать стабильность дальнейшего процесса производства продукции на заводах-потребителях чушковых материалов. Изучение взаимосвязи различных показателей качества металла друг с другом и возможности с их помощью осуществления контроля качества металла в отливках и чушках представляет научный и практический интерес.

В настоящее время поиск показателей качества из числа физико-механических и технологических характеристик материала отливок не увенчался успехом. Большинство показателей, таких как химический состав чушек;

качественных критериев, выражающих требования к внешнему виду поверхностей и изломов чушек; содержание газов или пористость; уровень механических свойств сплавов; электропроводность материала отливок; количество твердых включений в алюминиевых сплавах как критерий для оценки их качества и др. нашли ограниченное применение из-за односторонности их оценок.

Однако, если учесть что практически всё алюминиевое литьё проходит в той или другой мере механическую обработку, в процессе которой вскрывается основной брак литья и накапливаются многочисленные массивы данных замеров ОТК, следует задуматься: нельзя ли эти массивы ОТК использовать для оценки качества самого литья, анализа уровня технологии цветнолитейного цеха, качества получаемых чушек металла? В этом плане заслуживает интерес изучение размерной стойкости резца как показателя качества металла. Следует установить, является ли размерная стойкость резца довольно надёжным параметром оптимизации при исследовании технологических процессов и качества литья в целом методами математического планирования эксперимента и статистической обработки его результатов.

Отбор основных факторов, оказывающих влияние на размерную стойкость резца.

При механической обработке деталей на металлорежущих станках возникает ряд погрешностей, источниками которых является станок, приспособление, инструмент и сама обрабатываемая деталь (её качество). Причин возникновения погрешностей обработки очень много. Можно установить главные, или доминирующие причины.

Постоянные погрешности обработки возникают вследствие неточности настройки режущего инструмента на размер, неточности изготовления станка, приспособления и мерного режущего инструмента. Они сохраняют свое значение при обработке каждой новой детали.

Функциональные погрешности обработки возникают вследствие размерного износа режущего инструмента и его температурных деформаций от нагрева в процессе резания, в результате температурных деформаций станка и температурных деформаций обрабатываемой детали. Все эти погрешности являются функцией времени работы станка и режущего инструмента. Однако температурные деформации станка носят временный характер. По истечении определенного времени работы его температура стабилизируется и деформация частей станка прекращается, а погрешность, возникающая по этой причине, превращается в постоянную.

При работе на настроенных станках размерный износ систематически изменяет размер каждой новой детали. Исследованиями установлено, что в случае, когда механическая обработка отливок производится с охлаждением доведённым резцом (отсутствует начальный износ его и удлинение от нагрева), размерный износ режущих инструментов протекает во времени по закону близкому линейному.

Случайные погрешности обработки возникают от многих причин, связанных с упругими деформациями системы станок – приспособление – инструмент – деталь. Причём одной из важных причин является неравномерная твёрдость материала обрабатываемых отливок.

Таким образом, при обработке каждой новой детали возникают свои функциональные и свои случайные погрешности и, кроме того, у каждой детали имеется общая постоянная систематическая погрешность. Так как все эти погрешности возникают одновременно, то в сумме они образуют результирующую или суммарную погрешность обработки детали, которая и будет определять действительное отклонение размера от его номинального значения.

В силу изменчивости функциональных и случайных погрешностей суммарная погрешность обработка одной детали будет отличаться от суммарной погрешности другой детали. В результате этого возникает рассеивание погрешностей размеров деталей, обработанных с одной настройки станка. Это рассеивание чаще всего подчиняется закону нормального распределения, что позволяет **рассчитать коэффициенты корреляции линейного закона изменения размерного износа инструмента как функции количества обработанных отливок**. При этом тангенс угла наклона прямой к оси количества отливок характеризует величину интенсивности размерного износа инструмента. **Количество штук отливок, которое можно обработать на станке без дополнительной его переналадки, характеризует его размерную стойкость**.

При обработке деталей на настроенных станках токарного типа (автоматах, полуавтоматах и агрегатных станках), как правило, соблюдается постоянство режимов резания, материала режущего инструмента и его геометрии на протяжении всего времени работы оборудования. Отклонение этих факторов от принятых по технологии – незначительно. В таком случае, **размерная стойкость режущего инструмента и интенсивность износа находятся в непосредственной зависимости от качества литья**. В этой связи представляется возможным применение размерной стойкости режущего инструмента как критерия качества металла отливок.

Задача эксперимента:

1. Обосновать правомерность применения величины размерной стойкости резца в процессе механической обработки отливки как показателя качества металла отливок.

2. Оценить качество отливок станин электродвигателей и в целом уровня технологии производства литья цветнолитейного цеха методами статистической обработки результатов промышленного эксперимента.

Описание эксперимента.

Промышленный эксперимент проводится в условиях действующего производства при изготовлении станин электродвигателей АИР90, АИР100.

На одном оборудовании и одной пресс-форме методом литья под давлением изготавливаются две партии отливок: *контрольная и опытная*. Металл для отливок контрольной партии приготавливается по принятой в производстве технологии. Возврат (литники, прессостатки, промывники, брак литья) переплавляется в печи и передаточным ковшом доставляется к тигельной раздаточной печи. В процессе литья к переплавленному возврату добавляются чушки вторичного рафинированного сплава АК10Су"р" и первичного силумина. Металл для отливок опытной партии приготавливается полностью из возврата и подвергается дополнительной обработке флюсом (рафинированию и модифицированию).

Механическая обработка обеих партий отливок проводится на автоматических линиях по действующей технологии на одних и тех же рабочих местах. Перед началом обработки каждой партии проводится заточка резцов. Контролируется внутренний диаметр расточки отливки станины в двух произвольно выбранных, перпендикулярных друг к другу направлениях.

Алгоритм решения задачи:

1. Постановка задачи.

— литературная проработка проблемы (кейса);

— краткое описание эксперимента;

— формулировка задачи эксперимента и построение выборки для каждого этапа его анализа.

2. Проверка гипотезы о виде распределения полученных выборок.

— по χ^2 критерию Пирсона, либо по критерию Колмогорова-Смирнова (на выбор);

— проверка на наличие грубых ошибок (в случае необходимости);

— выводы по результатам анализа и варианты (в случае необходимости) приведения выборок к нормальному виду распределения.

3. Однофакторный дисперсионный анализ.

- проверка по критерию Бартлета однородности дисперсий отдельных выборок, полученных в период между перенастройками автоматической линии;
- корректировка каждой отдельной выборки путём отсева грубых ошибок до тех пор, пока не будет доказана однородность отдельных выборок и, тем самым, правомерность проведения дальнейшего дисперсионного анализа;
- проведение самого дисперсионного анализа;
- выводы и корректировка при необходимости с последующим дисперсионным анализом выборок пока фактор переналадки автоматической линии не станет малосущественным.

4. Корреляционный анализ.

- построение рядов наблюдений для корреляционного анализа;
- расчёт выборочного коэффициента парной корреляции;
- определение значимости коэффициента парной корреляции.

5. Регрессионный анализ.

- расчёт коэффициентов линейной регрессии;
- расчёт доверительных интервалов для коэффициентов линейной регрессии;
- проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии;
- проверка адекватности линейной модели;

6. Сравнение двух рядов наблюдений: процесса обработки контрольной партии и опытной.

- по величинам дисперсий и математических ожиданий;
- проверка с помощью ТТЕСТ;
- построение доверительного интервала для математического ожидания каждой выборки;
- выводы по результатам анализа.

7. Выводы и рекомендации по практическим работам №1 и №5.

Варианты заданий:

Сделать заключение о качестве металла отливок, оценить уровень технологии изготовления контрольной и опытной партий по результатам замеров внутреннего диаметра обработанной отливки.

Результаты

замеров отклонения размера от номинала (мм)
внутреннего диаметра отливки станины электродвигателя
после механической обработки её резцом на автоматической линии.

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
1	+0,20	+0,01	-0,08	+0,03
	-0,20	-0,06	+0,10	-0,11
2	0		-0,04	-0,13*
	+0,08		0	+0,05
3	+0,03	+0,02	+0,03	+0,12
	+0,10	-0,07	+0,05	-0,05
4	+0,02		+0,04	+0,05
	+0,06		-0,03	+0,07
5	-0,10	+0,02	-0,02	-0,01
	+0,20	-0,04	0	+0,06
6	+0,03		-0,04	+0,14
	+0,05		+0,02	-0,03
7		+0,03	-0,03	+0,13
		-0,05	+0,03	-0,07
8	+0,03		+0,03	+0,10
	+0,08		-0,08	-0,05
9		-0,08	+0,06	-0,03
		+0,03	-0,10	-0,01
10	+0,02		+0,03	+0,15
	+0,05		-0,14	-0,10
11		-0,09	+0,04	+0,13
		+0,03	-0,12	-0,08
12	+0,10		-0,03	+0,05
	-0,05		-0,20	-0,02
13		-0,12	-0,12	-0,02
		+0,05	-0,07	-0,02
14	-0,05		-0,12	+0,14
	+0,15		-0,14	-0,04
15		0	+0,01	-0,10
		-0,05	-0,17	+0,11
16	+0,16		-0,15	-0,03
	-0,12		-0,07	+0,06
17		-0,17	-0,13	+0,10
		+0,08	+0,06	-0,10

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
18	+0,02		+0,05	+0,17
	+0,08		-0,07	-0,12
19		-0,07	+0,06	+0,03
		+0,01	-0,04	-0,02
20	-0,05		-0,03	+0,03
	+0,08		+0,01	0
21		-0,09	+0,04	+0,15
		+0,01	-0,06	-0,20
22	+0,15		-0,04	+0,10
	-0,10		-0,04	-0,04
23		-0,04	-0,08	-0,01
		+0,01	+0,08	+0,02
24	+0,06		-0,03	-0,04
	+0,04		-0,02	+0,08
25		-0,1	-0,04	-0,04
		+0,03	+0,01	+0,02
26	+0,10		-0,06	+0,02
	-0,15		0	+0,01
27		-0,10	-0,03	0
		+0,01	-0,22	0
28	+0,05		-0,06	+0,05
	-0,02		+0,06	-0,03
29		-0,07	+0,03	+0,02
		+0,01	-0,05	-0,07
30	+0,01		+0,02	-0,04
	0		-0,06	+0,06
31	-0,04	+0,15	-0,02	-0,08
	+0,04	-0,15	-0,01	+0,09
32			-0,04	+0,15
			-0,01	-0,15
33	+0,03	-0,08	+0,05	-0,10
	-0,05	+0,01	-0,10	+0,08
34			-0,02	-0,10
			-0,10	+0,12

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
35	-0,02	-0,04	-0,10	+0,08
	+0,05	+0,01	+0,06	-0,10
36			-0,15	+0,06
			+0,06	-0,04
37	+0,05	-0,08	0	+0,10
	-0,01	+0,02	-0,10	-0,17
38			-0,05	+0,07
			-0,10	-0,08
39	-0,30	-0,10	+0,04	-0,05
	+0,30	+0,06	-0,09	+0,03
40			-0,12	-0,08
			-0,04	+0,05
41	-0,04	-0,02	+0,05	-0,06
	+0,05	+0,02	-0,04	+0,07
42			-0,02	+0,03
			-0,04	-0,01
43	-0,10	-0,05	-0,02	-0,05
	+0,08	-0,01	+0,02	+0,03
44			+0,05	+0,08
			-0,11	-0,08
45	-0,04	-0,06	+0,03	+0,05
	+0,03	-0,03	-0,08	-0,08
46			+0,10	-0,06
			-0,02	+0,06
47	+0,08	-0,07	-0,04	-0,04
	-0,12	+0,02	+0,2	+0,02
48			+0,15	-0,04
			-0,05	+0,03
49	+0,15	-0,04	0	-0,08
	-0,15	+0,03	+0,12	+0,04
50		-0,03	+0,08	-0,01
		0	-0,01	+0,02
51	+0,06	-0,13	+0,22	+0,01
	-0,05	+0,07	-0,06	-0,06

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
52			+0,05	-0,10
			+0,02	+0,12
53	-0,35	-0,04	-0,08	-0,06
	+0,40	+0,03	+0,10	-0,07
54			+0,04	-0,08
			-0,06	+0,12
55	-0,25	-0,14	+0,12	-0,04
	+0,15	+0,07	-0,03	-0,01
56			-0,06	+0,05
			-0,05	-0,08
57	+0,10	-0,08	-0,20	-0,12
	-0,14	0	-0,10	+0,03
58			-0,16	+0,05
			-0,04	-0,03
59	+0,12	-0,07	-0,06	-0,09
	-0,15	+0,01	-0,16	+0,05
60			-0,13	-0,09
			-0,11	+0,07
61	+0,03	-0,08	0	+0,06
	-0,05	0	+0,06	-0,12
62			+0,03	-0,08
			+0,07	+0,08
63	+0,01	-0,08	+0,09	+0,03
	-0,03	+0,02	-0,01	-0,06
64			+0,01	-0,03
			+0,10	+0,02
65	+0,15	-0,07	-0,04	-0,08
	-0,17	-0,02	+0,03	+0,01
66			+0,06	+0,01
			+0,10	-0,01
67	0	-0,05	+0,03	-0,09
	-0,08	-0,02	+0,03	+0,07
68			-0,04	+0,06
			+0,06	-0,09

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
69	-0,02	-0,08	-0,12	-0,07
	-0,10	-0,02	-0,12	-0,08
70			-0,04	-0,05
			-0,12	+0,10
71	+0,02	-0,08	-0,06	-0,02
	-0,12	+0,02	-0,12	-0,05
72	+0,04		-0,12	+0,04
	-0,08		-0,07	-0,07
73	+0,10	-0,10	-0,12	+0,03
	-0,10	-0,02	-0,13	-0,10
74			-0,03	-0,06
			+0,03	-0,07
75	0	-0,07	-0,04	-0,12
	-0,05	-0,03	-0,04	+0,12
76			+0,03	+0,02
			-0,06	-0,04
77	-0,07	-0,13	-0,08	-0,04
	+0,03	+0,02	-0,06	-0,05
78			+0,02	-0,07
			-0,04	+0,10
79		-0,12	-0,09	+0,04
		+0,03	-0,03	-0,07
80	-0,08		-0,04	+0,04
	+0,04		-0,08	-0,06
81		-0,10	-0,12	-0,07
		+0,03	-0,02	-0,04
82	+0,03		-0,04	-0,12
	+0,04		-0,12	+0,12
83		-0,14	-0,04	-0,07
		+0,03	-0,12	+0,04
84	-0,04		-0,04	-0,01
	-0,01		-0,11	+0,01
85		-0,08	-0,08	-0,01
		+0,01	-0,11	-0,10

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
86	+0,15		-0,01	+0,14
	-0,23		-0,04	-0,14
87		-0,10	-0,04	+0,02
		+0,01	-0,06	-0,03
88	-0,10		-0,03	+0,09
	+0,05		-0,04	-0,14
89		-0,12	-0,03	+0,11
		+0,07	-0,04	-0,18
90			0	-0,04
			-0,01	+0,06
91		-0,06	-0,06	+0,03
		+0,04	0	-0,05
92			+0,10	+0,10
			-0,14	-0,09
93		-0,03	+0,03	-0,06
		+0,02	-0,05	+0,01
94			-0,07	+0,08
			+0,08	-0,05
95		-0,05	+0,06	-0,07
		+0,01	-0,08	-0,02
96			+0,02	+0,02
			+0,02	-0,04
97		-0,03	+0,07	+0,01
		+0,01	-0,08	-0,09
98			+0,02	-0,02
			-0,01	+0,02
99		-0,09	+0,02	-0,07
		+0,08	-0,04	+0,02
100	+0,03		-0,08	-0,06
	-0,07		+0,08	+0,07
101		-0,05	-0,04	-0,11
		+0,06	-0,05	+0,05
102	+0,05		+0,09	+0,04
	-0,05		-0,08	0

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
103		-0,02	-0,08	-0,06
		+0,04	+0,04	+0,02
104	+0,15		+0,13	-0,04
	-0,17		-0,14	+0,07
105		-0,06	+0,02	+0,05
		+0,04	-0,09	-0,14
106	+0,15		+0,04	+0,02
	-0,20		-0,03	-0,02
107		-0,14	0	-0,10
		+0,12	-0,04	+0,10
108	+0,02		+0,07	-0,08
	-0,01		-0,07	+0,08
109		-0,10	-0,02	-0,02
		+0,06	-0,05	-0,06
110	+0,08		+0,14	-0,07
	-0,12		-0,10	+0,11
111		-0,03	-0,03	-0,01
		0	0	-0,03
112	+0,05		+0,02	+0,04
	-0,07		-0,03	-0,05
113		-0,30	+0,02	
		+0,30	-0,07	
114	+0,30		-0,07	
	-0,30		+0,07	
115		-0,12	-0,01	
		+0,08	-0,04	
116	+0,04		-0,02	
	-0,07		+0,01	
117		-0,06	0	
		+0,05	0	
118	+0,35		-0,01	
	-0,40		-0,01	
119		-0,03		
		+0,01		

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
120	-0,17		-0,03	
	+0,09		+0,04	
121		-0,06	-0,01	
		+0,07	+0,03	
122	-0,40		-0,01	
	+0,40		-0,03	
123		-0,06	-0,04	
		+0,08	0	
124	+0,02		0	
	-0,08		+0,04	
125		-0,06	-0,04	
		+0,04	+0,03	
126			-0,03	
			+0,03	
127	+0,15	-0,05	-0,02	
	-0,10	+0,04	+0,03	
128	+0,02		-0,02	
	-0,10		+0,07	
129	+0,20	-0,05	+0,01	
	-0,20	+0,05	-0,03	
130			+0,06	
			-0,04	
131		-0,05	+0,05	
		+0,02	-0,04	
132			+0,07	
			-0,02	
133			-0,07	
			-0,02	
134			-0,02	
			+0,01	
135			+0,06	
			-0,08	
136			-0,01	
			+0,04	

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
137			0	
			-0,03	
138			-0,06	
			+0,10	
139			+0,02	
			-0,03	
140			-0,05	
			+0,03	
141			-0,09	
			+0,04	
142			+0,02	
			-0,03	
143			-0,06	
			+0,05	
144			-0,01	
			+0,03	
145			-0,06	
			+0,02	
146			-0,01	
			+0,05	
147			+0,06	
			-0,04	
148			0	
			-0,02	
149			-0,02	
			-0,03	
150			-0,03	
			+0,06	
151			-0,04	
			+0,04	
152			+0,03	
			0	
153			-0,08	
			+0,05	

№ отливки в партии	АИР 90 на лапах ($\varnothing 149\pm 0,08$)		АИР 100 на лапах ($\varnothing 168\pm 0,08$)	
	Контрольная партия	Опытная пар- тия	Контрольная партия	Опытная пар- тия
154			-0,10	
			+0,08	
155			-0,04	
			-0,05	

**Примечание:* после обработки отливки с отклонениями, перечёркнутыми по диагонали, проводилась подстройка резца на номинальный размер.

3. Пример краткого описания промышленного эксперимента для решения кейс-задач №2

Краткое описание сути проблемы (кейса).

Качество вторичных сплавов во многих случаях уступает качеству сплавов из первичного сырья, что затрудняет их применение при изготовлении деталей ответственного назначения. В связи с этим особый практический интерес приобретают работы направленные на построение моделей широко известных вторичных сплавов АК5М2 и АК5М7 с дальнейшей их рационализацией состава и режимов термообработки.

В связи со стремлением к минимизации количества опытов в эксперименте возникает вопрос: сколько и каких опытов необходимо провести, чтобы найти оптимальные условия функционирования объекта?

С одной стороны это выбор наиболее существенных факторов, влияющих на объект исследования, с другой – сокращение числа уровней.

Учитывая сложный характер зависимостей уровня механических свойств от химического состава и режимов термической обработки, в процессе группового обсуждения предлагается двухуровневое планирование эксперимента. Отбор трёх наиболее существенных факторов, из числа определяющих химический состав сплава, методом «априорного ранжирования». Построение линейной модели для ДФЭ типа 2^{6-2} , позволяющей убедиться в сложности характера зависимостей. Достройка ДФЭ до плана Хартли второго порядка как наиболее экономичного, который для шести факторов требует всего 29 опытов.

Задача эксперимента.

Повышение уровня механических свойств вторичных силуминов путём рационализации их состава и режимов термической обработки по заданию преподавателя.

Алгоритм решения задачи:

1. Постановка задачи и выбор путей её решения.

— Выбор источника информации (5 специалистов), обсуждение основных факторов.

В качестве результата обсуждения предлагаются следующие факторы и их ранжирование:

X_1 – концентрация меди в составе сплава, масс. %;

X_2 – концентрация марганца в составе сплава, масс. %;

X_3 – концентрация магния в составе сплава, масс. %;

X_4 – время выдержки под закалку, ч;

X_5 – время старения, ч;

X_6 – температура старения, $^{\circ}\text{C}$;

X_7 – концентрация кремния в составе сплава, масс. %;

X_8 – концентрация цинка в составе сплава, масс. %;

X_9 – концентрация железа в составе сплава, масс. %;

X_{10} – концентрация никеля в составе сплава, масс. %;

X_{11} – концентрация свинца в составе сплава, масс. %;

X_{12} – концентрация олова в составе сплава, масс. %;

	Специалисты	Ранги									
		X_1	X_2	X_3	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	
AK5M7	1	1	2	3	6	6	7	8	9	7	
	2	1,5	1,5	3	5	6	7	8	9	6	
	3	1	2	3	5,5	5,5	6	8	8	7	
	4	1	2	3	5	6	6	9	8	9	
	5	2	1	3	5,5	5,5	7	7	9	8	
AK5M2	1	1	2	4	6	6	5	7	5	8	
	2	2	3	3	7	9	5	8	6	7	
	3	1	1	4	8	8	6	9	8	9	
	4	2	2	3	6	7	5	7	5	6	
	5	1	2	2	8	7	6	8	6	7	

— Обработка полученных результатов.

— Определение согласованности мнений специалистов.

— Построение диаграммы рангов.

— Выбор из девяти факторов, определяющих химический состав сплава, три по степени их влияния на процесс получения сплава с высоким уровнем механических свойств из вторичного сырья.

Результатом проделанной работы должны быть отобранными шесть из двенадцати факторов для построения моделей сплавов.

2. Построение линейной модели сплавов АК5М2 и АК5М7.

— Обсуждение и выбор типа плана, основного уровня и интервалов варьирования факторов, их кодирование.

Результат выбора:

План типа – ПФЭ 2^6

Первоначальный интервал варьирования факторов.

Фактор Сплав	Интервал варьирования					
	X ₁ , %	X ₂ , %	X ₃ , %	X ₄ , ч	X ₅ , ч	X ₆ , °C
АК5М2	0,32...0,68	0,32...0,68	1,9...3,1	5,59...16,41	3,19...12,81	170...230
АК5М7	0,36...0,54	0,18...0,42	6,4...7,6	8,39...15,6	5,19...14,8	152...188

Примечание: остальные факторы поддерживать на постоянном среднестатистическом уровне или, для вредных примесей, на максимальном.

— Сокращение количества опытов путём выбора определяющего контраста, частичного отсева эффектов высших порядков, перехода к ДФЭ 2^{6-2} и выбору реплик для конечного ортогонального плана.

Табл.1. Матрица планирования конечного эксперимента

Результат выбора:

Приняты генерирующие соотношения: $X_1=X_2X_3$; $X_2=X_1X_3$; $X_3=X_1X_2$; $X_4=X_5X_6$; $X_5=X_4X_6$; $X_6=X_4X_5$; $X_1X_2X_3=X_4X_5X_6$. Из предварительно составленной промежуточной матрицы планирования ПФЭ 2^6 с ранее выбранными генерирующими соотношениями факторов получена матрица конечного эксперимента (дробная реплика ПФЭ 2^6) путём выбора из промежуточной матрицы планирования следующих номеров опытов: **1, 17, 32, 49**; 3, 19, 35, 51; **5, 21, 37, 53**; 7, 23, 39, 55.

— Проведение рандомизации для исключения влияния систематической ошибки.

— Проведение опытов в соответствии с планом конечного эксперимента.

Результаты представлены в Табл.2.

— Проверка гипотезы о воспроизводимости опытов (по критерию Кохрена).

— Вычисление коэффициентов регрессии и их значимости (по критерию Стьюдента).

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	1	-1
3	1	1	1	-1	-1	1
4	1	1	1	1	-1	-1
5	-1	1	-1	1	1	1
6	-1	1	-1	-1	1	-1
7	-1	1	-1	-1	-1	1
8	-1	1	-1	1	-1	-1
9	-1	-1	1	1	1	1
10	-1	-1	1	-1	1	-1
11	-1	-1	1	-1	-1	1
12	-1	-1	1	1	-1	-1
13	1	-1	-1	1	1	1
14	1	-1	-1	-1	1	-1
15	1	-1	-1	-1	-1	1
16	1	-1	-1	1	-1	-1
Σ	0	0	0	0	0	0

— Построение линейной модели сплавов и проверка гипотезы об их адекватности (по критерию Фишера). Выводы о необходимости построения плана более высокого порядка.

Таблица 2.

Результаты реализации опытов матрицы конечного активного эксперимента по исследованию влияния состава сплава и режимов термообработки на параметры оптимизации.*

№ опыта	AK5M7				AK5M2			
	$\sigma_{в1}$, МПа	$\sigma_{в2}$, МПа	δ_1 , %	δ_2 , %	$\sigma_{в1}$, МПа	$\sigma_{в2}$, МПа	δ_1 , %	δ_2 , %
1	360	340	0,05	0,11	314	300	0,11	0,32
2	347	363	0,17	0,32	320	332	0,46	0,19
3	341	359	0,05	0,11	340	350	0,37	0,13
4	330	316	0,66	0,50	338	350	0,65	0,45
5	391	409	0,36	0,22	305	319	0,82	0,50
6	411	393	0,46	0,30	355	345	1,29	0,95
7	380	390	0,21	0,13	340	328	1,06	0,88
8	325	337	0,64	0,80	341	327	1,42	1,08
9	399	389	0,05	0,10	362	350	0,11	0,45
10	353	365	0,13	0,03	395	406	0,20	0,40
11	350	360	0,12	0,22	368	376	0,54	0,30
12	339	321	0,74	0,60	378	390	0,80	1,02
13	352	358	0,23	0,11	316	324	0,24	0,10
14	382	396	0,06	0,10	351	346	0,40	0,22
15	377	367	0,23	0,11	350	340	0,20	0,30
16	341	325	0,52	0,40	345	335	0,30	0,20
0	372	364	0,25	0,35	357	349	0,32	0,52

*Примечание: $\sigma_{вj}$, δ_j – величина временного сопротивления разрыву на растяжение и относительное удлинение образцов, отлитых и термообработанных в соответствии с матрицей планирования экспериментов. j - номер повтора опыта.

Табл.3. План Хартли второго порядка на базе дробной реплики ПФЭ 2^{6-2} с выбранными генерирующими соотношениями.

3. Построение модели сплавов второго порядка.

— Выбор плана Хартли (вместо 64 опытов для ПФЭ требует 29). Выбор «звёздного плеча» α для расширения области исследований и построения модели второго порядка.

Рекомендуется выбор "звездного плеча" α осуществлять путём расчета по формуле:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sqrt{N \cdot N_1} - N_1}{2r}},$$

где $N=N_1+(2n+1) \cdot r$ - общее число опытов композиционного плана;
 n – количество факторов;
 N_1 - число точек в исходной матрице;
 $(2n+1)$ – число дополнительных точек;
 r - число повторений экспериментов в дополнительных точках.

В этом случае будут коррелировать только эффекты b_i и b_{ij} , которые были смещены в исходной реплике.

— Достройка линейной матрицы конечного эксперимента до плана Хартли второго порядка.

Результаты представлены в Табл.3.

№ опыта	Факторы					
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	1	-1
3	1	1	1	-1	-1	1
4	1	1	1	1	-1	-1
5	-1	1	-1	1	1	1
6	-1	1	-1	-1	1	-1
7	-1	1	-1	-1	-1	1
8	-1	1	-1	1	-1	-1
9	-1	-1	1	1	1	1
10	-1	-1	1	-1	1	-1
11	-1	-1	1	-1	-1	1
12	-1	-1	1	1	-1	-1
13	1	-1	-1	1	1	1
14	1	-1	-1	-1	1	-1
15	1	-1	-1	-1	-1	1
16	1	-1	-1	1	-1	-1
17	1,664	0	0	0	0	0
18	-1,664	0	0	0	0	0
19	0	1,664	0	0	0	0
20	0	-1,664	0	0	0	0
21	0	0	1,664	0	0	0
22	0	0	-1,664	0	0	0
23	0	0	0	1,664	0	0
24	0	0	0	-1,664	0	0
25	0	0	0	0	1,664	0
26	0	0	0	0	-1,664	0
27	0	0	0	0	0	1,664
28	0	0	0	0	0	-1,664
29	0	0	0	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0

— Проведение опытов в соответствии с планом второго порядка.

Результаты представлены в Табл.4.

— Вычисление коэффициентов регрессии и их значимости.

Таблица 4.

Результаты реализации дополнительных опытов матрицы второго порядка активного эксперимента по исследованию влияния состава сплава и режимов термообработки на параметры оптимизации.*

№ опыта	AK5M7				AK5M2			
	$\sigma_{в1}$, МПа	$\sigma_{в2}$, МПа	δ_1 , %	δ_2 , %	$\sigma_{в1}$, МПа	$\sigma_{в2}$, МПа	δ_1 , %	δ_2 , %
$+\alpha_{x1}$	374	354	0,26	0,16	343		0,43	0,23
$-\alpha_{x1}$	360	374	0,20	0,3	311	295	1,66	2,00
$+\alpha_{x2}$	365	347	0,31	0,19	370	388	0,90	0,68
$-\alpha_{x2}$	335	325	0,15	0,29	354	340	0,23	0,43
$+\alpha_{x3}$	340	354	0,20	0,3	384	400	0,12	0,32
$-\alpha_{x3}$	351	339	0,08	0,08	349		0,90	0,68
$+\alpha_{x4}$	310	324	1,16	1,0	363		0,36	0,58
$-\alpha_{x4}$	402	382	0,19	0,31	335	319	0,26	0,42
$+\alpha_{x5}$	337	349	0,11	0,05	333	355	0,32	0,17
$-\alpha_{x5}$	312	300	1,25	1,41	284	270	1,73	1,39
$+\alpha_{x6}$	332	350	0,32	0,18	303		0,32	0,52
$-\alpha_{x6}$	332	322	0,96	1,12	294	278	1,40	1,10

*Примечание: $\sigma_{вj}$, δ_j – величина временного сопротивления разрыву на растяжение и относительное удлинение образцов, отлитых и термообработанных в соответствии с матрицей планирования экспериментов. j - номер повтора опыта.

— Проверка гипотезы адекватности модели.

Рекомендуется коррелированные коэффициенты определять:

$$b_i = \frac{-y'_d + y''_d}{2d}; \quad b_{ij} = -\left(\frac{-y'_d + y''_d}{2d}\right) + \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{N_1}$$

где y'_d и y''_d - значения выхода в соответствующих звездных точках. Остальные коэффициенты рассчитываются независимо по нижеприведённым формулам.

Замена переменных осуществляется путем $x_i^{*2} = x_i^2 - \varphi$, где

$$\varphi = \frac{N_1 + 2d^2}{N}$$

Тогда

$$b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot y_u}{N_1(1-\varphi) + 2d^2(d^2 - 1)}$$

$$b_0 = b'_0 - \varphi(b_{11} + b_{22} + \dots + b_{kk}), \text{ где } b_0 = \left(\sum_{u=1}^N y_u \right) / N$$

Оценки для коррелированных коэффициентов регрессии и ошибок в их определении рассчитываются по следующим формулам:

$$S[b_i] = \frac{S[y]}{\sqrt{2} \alpha^2}; \quad S[b_{ij}] = \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{2 \alpha^2}} \cdot S[y]$$

где $S^2[y]$ дисперсия воспроизводимости эксперимента.

$$S^2[y] = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^k (y_{uj} - \bar{y}_u)^2}{\sum_{u=1}^N (r_u - 1)}$$

где \bar{y}_u - среднее арифметическое значение параметра оптимизации в u - наблюдении.

Оценки для остальных коэффициентов регрессии определяются из выражения. $S[b_0] = \sqrt{S^2[b'_0] + \varphi \{S^2[b_{11}] + \dots + S^2[b_{kk}]\}}$

$$S[b'_0] = S[y] / \sqrt{N}$$

— Выбор оптимальной области составов и режимов термообработки с помощью построенных моделей сплавов и в соответствии с заданием преподавателя. Выводы и рекомендации в целом по работе.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа студентов является важнейшим компонентом образовательного процесса, развивающим их способности к самообучению и повышению своего профессионального уровня.

Цель самостоятельной работы – самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные технологии, обобщать, оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы, а также критически анализировать полученные знания и аргументировано отстаивать свои предложения.

Самостоятельная работа направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала, она включает в себя следующие виды работы студентов: работа с лекционным материалом, опережающая самостоятельная работа, подготовка к практическим работам, подготовка к зачёту с оценкой.

Опережающая самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя.

Содержание (структура) заданий самостоятельной работы студента

№ п/п	Тема (раздел) самостоятельной работы студента
<i>I семестр</i>	
1.	Методологические основы выбора показателей качества металла отливок как критериев контроля и оценки технологии их производства.
2.	Эксперимент как предмет исследования.
3.	Проанализируйте полученную выборку и очертите круг задач, которые с её помощью решаются методами математической статистики. Представьте соответствующий алгоритм решения выбранной вами проблемы.
4.	Изучить методологические основы построения пассивного эксперимента.
5.	Обосновать правомерность применения методов статистической обработки для ранее полученных выборок. Познавать критерии согласия и освоить процедуры их применения.
6.	Метод дисперсионного анализа как путь решения подзадач исследуемой вами проблемы.
7.	Методы корреляционного и регрессионного анализа и их применимость в поиске решения вами сформулированных проблем.
8.	Теоретические основы дисперсионного анализа.
9.	Характеристика видов связей между рядами наблюдений. Пути решения задач: корреляционного и регрессионного анализа.
10.	Определение тесноты связи между случайными величинами. Расчёт выборочного корреляционного отношения. Линейная регрессия от одного фактора.
11.	Регрессионный анализ. Изучение процедуры проверки адекватности модели. Линейная множественная регрессия. Нелинейная регрессия.
<i>II семестр</i>	
12.	Пути и методы отбора основных факторов на примере марок сплавов АК5М2 и АК5М7.
13.	Практическое применение методов планирования эксперимента при анализе проблем литейного производства.
14.	Планирование первого порядка. Выбор основных факторов и их уровней. Полный факторный эксперимент. Расчёт коэффициентов уравнения регрессии. Статистический анализ результатов эксперимента.
15.	Дробный факторный эксперимент. Определяющий контраст. Насыщенные планы.
16.	Планы второго порядка. Построение ротатабельных планов второго порядка.
17.	Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. Метод координатной оптимизации. Метод крутого восхождения. Симплексный метод планирования. Метод деформируемого симплекса.

При выполнении семестрового плана практических и самостоятельных работ студенту рекомендуется: найти соответствующий учебный материал по данному разделу, проработать раздел, используя рекомендованную литературу, сформулировать наиболее трудные для понимания вопросы раздела и рассмотреть их на консультации с преподавателем, составить краткий отчёт по проделанной работе. Контроль самостоятельной работы студентов производится во время защиты и в процессе выполнения заданий каждого из рейтинга, а также сдачи зачета по дисциплине в целом.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Интернет-ресурсы:

1. <https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-disk-public%3A%2F%2FDPDx5%2F0S6bcNv08tt0MFL55yEi5Y%2BV14qhQQSCqC47UI%3D&name=%D0%9B%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%B2%20%D0%92.%D0%92.%202004%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B.pdf&c=57c0204f1577> - Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / **Н. А. Спирин, В. В. Лавров**. Под общ. ред. Н. А. Спирина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. - 257 с.
2. <https://search.rsl.ru/ru/record/01005397994> – Организация эксперимента: учебное пособие/ В. П. Соловьёв, Е. М. Богатов. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 250 с.
3. [HTTP://INSTITUTIONES.COM/INDEX.PHP?OPTION=COM_DOCMAN&TASK=DOC_DOWNLOAD&GID=1150&ITEMID=](http://institutiones.com/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1150&Itemid=) **Вуколов Э. А.** ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. ПРАКТИКУМ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДАМ И ИССЛЕДОВАНИЮ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТОВ STATISTICA И EXCEL: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. – 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФОРУМ, 2008. – 464 с. – (ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ).
4. <http://en.bookfi.net/book/758374> **Зедгинидзе И. Г.** Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 390 с.