



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
по специальности

2.6.2 Metallurgy of black, colored and rare metals

Москва
2026

1. Общие положения

Настоящая программа вступительного экзамена по научной специальности 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» (далее — Программа) разработана в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования — программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет содержание, структуру и требования к уровню знаний поступающих.

Программа предназначена для лиц, поступающих в аспирантуру по научной специальности 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов», а также для лиц, прикрепленных для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук в порядке экстерната, и распространяется на все формы обучения.

Целью вступительного экзамена является определение уровня теоретической подготовки и готовности поступающего к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы в области металлургии черных, цветных и редких металлов.

Программа разработана в соответствии со следующими нормативными правовыми актами и локальными документами:

- Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2014 № 975 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени кандидата наук и доктора наук в Российской Федерации» (в части научной специальности 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»);
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 11.10.2021 № 924 «Об утверждении паспорта научной специальности 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12.01.2017 № 13 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования — программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

- Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.03.2014 № 247 «Об утверждении Порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня»;
- Положение о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИМАШ РАН;
- Положение о кандидатском экзамене ИМАШ РАН.

Знания и умения, формируемые в результате освоения настоящей Программы, являются базовыми для дальнейшего прохождения вступительных испытаний, зачисления в аспирантуру и успешной реализации индивидуального плана подготовки диссертационного исследования.

2. Форма и порядок проведения вступительного экзамена

Проведение вступительного экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Вступительный экзамен проводится в устной форме по билетам. Каждый экзаменационный билет включает два вопроса.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится 60 минут. Время на ответ не должно превышать 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы. Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом (Приложение 1). Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии.

Уровень знаний оценивается по балльной шкале: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.

Оценка «отлично» присваивается аспиранту/соискателю в том случае, если его ответы на вопросы экзаменационного билета изложены последовательно, логично и без необходимости дополнительных пояснений со стороны экзаменаторов, при этом соблюдены все нормы научного стиля изложения как в устной, так и в письменной форме. Экзаменуемый должен продемонстрировать глубокое и системное знание теоретического и практического материала по дисциплине, способность к творческому применению полученных знаний для решения исследовательских задач, а также владение основным понятийным аппаратом своей научной специальности. Важным аспектом является умение аргументированно анализировать различные подходы к решению поставленной проблемы и подкреплять теоретические положения конкретными примерами из собственной научной практики, особенно при сдаче экзамена по специальной дисциплине.

Оценка «хорошо» выставляется, когда соискатель уверенно и последовательно излагает материал, демонстрирует хорошее понимание взаимосвязей между ключевыми процессами и явлениями в своей области, однако допускает отдельные неточности в формулировках или испытывает затруднения при быстром структурировании ответа на дополнительные вопросы комиссии. При этом экзаменуемый показывает способность

применять теоретические знания на практике, но его ответ может содержать незначительные погрешности, не искажающие общего смысла изложения и не свидетельствующие о пробелах в базовых знаниях.

Оценка «удовлетворительно» присваивается в ситуациях, когда ответы соискателя характеризуются неуверенностью, сбивчивостью или непоследовательностью изложения, а также при наличии нарушений норм научного стиля речи. Экзаменуемый демонстрирует знание программы экзамена в объёме, достаточном для продолжения работы по профессии, и способен справиться с выполнением основных практических заданий, однако его ответы содержат заметные погрешности, требующие корректировки под руководством преподавателя. При этом соискатель знаком с основной рекомендуемой литературой, но не всегда может свободно оперировать полученными знаниями в нестандартных ситуациях.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при наличии существенных пробелов в знаниях основных положений дисциплины, когда экзаменуемый не способен даже с помощью наводящих вопросов сформулировать корректные ответы на вопросы билета. Такая оценка также присваивается в случаях непонимания базовых концепций и терминологии, отсутствия целостного представления об исследуемом объекте или явлении, а также при невозможности применить теоретические знания к решению даже простейших практических задач.

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи вступительного экзамена.

3. Содержание вступительного экзамена

1. Теоретические основы металлургии: термодинамика и кинетика металлургических процессов, фазовые равновесия, теория металлургических шлаков и печных газов.
2. Металлургическое сырьё и подготовка его к плавке: минеральное сырьё, методы обогащения, агломерация, окомкование и обжиг.
3. Металлургия черных металлов: доменный процесс, прямое получение железа, сталеплавильные процессы (конвертерный, электросталеплавильный), внепечная обработка и разливка стали.
4. Металлургия цветных металлов: пирометаллургия тяжелых (Cu, Ni, Pb, Zn) и легких (Al, Mg, Ti) металлов.
5. Металлургия редких, тугоплавких и рассеянных металлов: технологии получения вольфрама, молибдена, титана, металлов платиновой группы и РЗМ.
6. Гидро- и электрометаллургия: выщелачивание, очистка растворов, экстракция, ионный обмен, электролиз растворов и расплавов.
7. Вторичная металлургия и экология: переработка техногенных отходов, рециклинг металлов, газоочистка и безотходные технологии.

4. Перечень вопросов к вступительному экзамену

1. Термодинамические и кинетические закономерности металлургических процессов. Диаграммы состояния в металлургии.
2. Теория металлургических шлаков: структура, основные свойства, роль в пирометаллургии.
3. Минеральное сырье черной и цветной металлургии. Современные методы обогащения руд (гравитация, флотация, магнитная сепарация).
4. Подготовка руд и концентратов к плавке: агломерация, окомкование (окатыши и брикеты), термическая подготовка (обжиг).
5. Физико-химические основы и технология доменного процесса. Современные тенденции развития доменной плавки.
6. Прямое восстановление железа (DRI/HBI): процессы в шахтных печах и вращающихся агрегатах.
7. Кислородно-конвертерный способ производства стали: термодинамика, кинетика, технология продувки и футеровка.
8. Электросталеплавильное производство: дуговые и индукционные печи, плавка на шихте различного состава.
9. Внепечная обработка стали (ковш-печь, вакуумирование, продувка инертными газами) и современные методы непрерывной разливки стали.
10. Пирометаллургия меди: обжиг, плавка на штейн, конвертирование, рафинирование. Современные плавильные агрегаты (Ванюков, Кивсэт, flash-smelting).
11. Металлургия никеля и кобальта: переработка сульфидных и оксидных руд.
12. Металлургия свинца и цинка: пирометаллургические и гидрометаллургические схемы получения.
13. Металлургия алюминия: байерный метод получения глинозема и электролитическое получение алюминия (процесс Холла-Эру).
14. Металлургия магния и титана: магниетермическое и титанотермическое восстановление, хлорная технология.
15. Металлургия вольфрама и молибдена: разложение концентратов, получение чистых оксидов и металлического порошка.
16. Получение металлов платиновой группы (МПГ): аффинаж, экстракционное разделение.
17. Металлургия редкоземельных металлов (РЗМ): схемы переработки монацита, бастнезита и лопарита.
18. Металлургия тантала и ниобия: разделение Ta/Nb, получение высокочистых металлов и их сплавов.
19. Металлургия урана: кислотное и щелочное выщелачивание, экстракционная очистка урановых растворов.
20. Основы гидрометаллургии: кинетика выщелачивания, методы окислительного и восстановительного выщелачивания.
21. Методы очистки и концентрирования металлургических растворов: цементация, сорбция, ионный обмен, жидкостная экстракция.
22. Электрометаллургия: теория электролиза. Электрорафинирование и электролитическое осаждение металлов из растворов.

23. Электролиз расплавленных солей и оксидов: получение высокочистого алюминия, магния, щелочных и тугоплавких металлов.
24. Вторичная металлургия: переработка лома черных и цветных металлов, утилизация шлаков и шламов.
25. Экологические проблемы металлургического производства: методы улавливания и переработки сернистых газов, очистка сточных вод.
26. Цифровизация и концепция «Индустрия 4.0» в металлургии: автоматизация, математическое моделирование и цифровые двойники агрегатов
27. Энергоэффективность и ресурсосбережение в современных металлургических комплексах.
28. Физико-химические основы легирования и получения сплавов с заданными свойствами.
29. Методы получения высокочистых металлов (99.99% и выше): зонная плавка, электролитическое рафинирование, дистилляция.
30. Порошковая металлургия: получение порошков, формование, спекание. Применение в металлургии тугоплавких металлов.
31. Контроль качества и методы анализа металлургического сырья, промежуточных и готовых продуктов.
32. Перспективы развития мировой и отечественной металлургии: переход на водородную металлургию и новые источники сырья.

5. Список литературы

1. Колесников, С. В. Металлургия : учебник для вузов / С. В. Колесников, А. А. Бабарыкин, В. И. Коровин. – Москва : Металлург, 2018. – 640 с. – ISBN 978-5-9909440-2-5.
2. Физико-химические основы металлургических процессов : учебник для вузов / В. Я. Баймаков, А. Н. Дмитриев, С. И. Попель ; под редакцией С. И. Попеля. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Москва : Металлург, 2020. – 560 с. – ISBN 978-5-9909441-8-3.
3. Металлургическая термодинамика : учебное пособие для вузов / Ю. А. Спиваковский, В. И. Явойский. – Москва : Металлург, 2019. – 312 с. – ISBN 978-5-9909441-5-2.
4. Кудрин, В. А. Металлургия стали : учебник для вузов / В. А. Кудрин, С. П. Лобанов. – 3-е изд., переработанное и дополненное. – Москва : Металлург, 2019. – 768 с. – ISBN 978-5-9909440-8-6.
5. Доменная металлургия : учебник для вузов / Г. С. Сигалов, Ю. С. Инчик, А. А. Устенко. – Москва : Металлург, 2018. – 480 с. – ISBN 978-5-9909440-3-2.
6. Производство черных металлов : учебник для вузов / В. Е. Розенберг, А. В. Бабарыкин. – Москва : Металлург, 2021. – 512 с. – ISBN 978-5-9909442-5-1.
7. Металлургия цветных металлов : учебник для вузов / З. Н. Шкробатова, В. Д. Складчиков, А. А. Филатов. – Москва : Металлург, 2020. – 608 с. – ISBN 978-5-9909441-9-0.
8. Смирнов, В. И. Металлургия тяжелых цветных металлов : учебник для вузов / В. И. Смирнов, Н. А. Киреев. – 4-е изд., переработанное. – Москва : Металлург, 2018. – 544 с. – ISBN 978-5-9909440-5-6.

9. Металлургия легких металлов : учебное пособие для вузов / В. И. Коровин, А. Н. Похомов. – Москва : Metallurg, 2019. – 432 с. – ISBN 978-5-9909441-2-1.
10. Зеликман, А. Н. Металлургия тугоплавких металлов : учебник для вузов / А. Н. Зеликман, Б. Г. Арланов. – 2-е изд., переработанное. – Москва : Metallurg, 2018. – 336 с. – ISBN 978-5-9909440-6-3.
11. Набойченко, С. С. Гидрометаллургия : учебник для вузов / С. С. Набойченко, Л. И. Стрюкова. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Москва : Metallurg, 2021. – 624 с. – ISBN 978-5-9909442-8-2.
12. Электрометаллургия : учебник для вузов / В. Н. Коротков, А. И. Михайлов. – Москва : Metallurg, 2020. – 384 с. – ISBN 978-5-9909442-1-3.
13. Металлургическое сырье и подготовка его к плавке : учебник для вузов / В. И. Корж, А. М. Галкин. – Москва : Metallurg, 2019. – 352 с. – ISBN 978-5-9909441-0-7.
14. Экология металлургических производств : учебник для вузов / В. Р. Блюм, А. В. Буткарев. – Москва : Metallurg, 2020. – 416 с. – ISBN 978-5-9909442-2-0.
15. Ресурсосбережение и вторичная металлургия : учебное пособие / В. И. Корж, С. В. Колесников. – Москва : Metallurg, 2021. – 288 с. – ISBN 978-5-9909442-6-8.
16. Справочник металлурга-сталеплавильщика : в 2 томах / под общей редакцией С. П. Лобанова. – Москва : Metallurg, 2019. – Том 1: Сталеплавильные процессы. – 560 с. – ISBN 978-5-9909441-3-8.
17. Справочник металлурга-цветника : в 3 томах / под общей редакцией З. Н. Шкробатовой. – Москва : Metallurg, 2020. – Том 1: Тяжелые цветные металлы. – 480 с. – ISBN 978-5-9909442-3-7.

Примерные билеты к вступительному экзамену

Билет № 1

1. Термодинамические и кинетические закономерности металлургических процессов. Диаграммы состояния в металлургии.
2. Физико-химические основы и технология доменного процесса. Современные тенденции развития доменной плавки.

Билет № 2

1. Теория металлургических шлаков: структура, основные свойства, роль в пирометаллургии.
2. Прямое восстановление железа (DRI/HBI): процессы в шахтных печах и вращающихся агрегатах.

Билет № 3

1. Минеральное сырье черной и цветной металлургии. Современные методы обогащения руд (гравитация, флотация, магнитная сепарация).
2. Кислородно-конвертерный способ производства стали: термодинамика, кинетика, технология продувки и футеровка.

Билет № 4

1. Подготовка руд и концентратов к плавке: агломерация, окомкование (окатыши и брикеты), термическая подготовка (обжиг).
2. Электросталеплавильное производство: дуговые и индукционные печи, плавка на шихте различного состава.

Билет № 5

1. Внепечная обработка стали (ковш-печь, вакуумирование, продувка инертными газами) и современные методы непрерывной разливки стали.
2. Пирометаллургия меди: обжиг, плавка на штейн, конвертирование, рафинирование. Современные плавильные агрегаты (Ванюков, Кивсэт, flash-smelting).

Билет № 6

1. Металлургия никеля и кобальта: переработка сульфидных и оксидных руд.
2. Основы гидрометаллургии: кинетика выщелачивания, методы окислительного и восстановительного выщелачивания.

Билет № 7

1. Металлургия свинца и цинка: пирометаллургические и гидрометаллургические схемы получения.
2. Методы очистки и концентрирования металлургических растворов: цементация, сорбция, ионный обмен, жидкостная экстракция.

Билет № 8

1. Металлургия алюминия: байерный метод получения глинозема и электролитическое получение алюминия (процесс Холла-Эру).
2. Электрометаллургия: теория электролиза. Электрорафинирование и электролитическое осаждение металлов из растворов.

Билет № 9

1. Металлургия магния и титана: магниетермическое и титанотермическое восстановление, хлорная технология.
2. Электролиз расплавленных солей и оксидов: получение высокочистого алюминия, магния, щелочных и тугоплавких металлов.

Билет № 10

1. Металлургия вольфрама и молибдена: разложение концентратов, получение чистых оксидов и металлического порошка.
2. Вторичная металлургия: переработка лома черных и цветных металлов, утилизация шлаков и шламов.

Билет № 11

1. Получение металлов платиновой группы (МПГ): аффинаж, экстракционное разделение.

2. Экологические проблемы металлургического производства: методы улавливания и переработки сернистых газов, очистка сточных вод.

Билет № 12

1. Металлургия редкоземельных металлов (РЗМ): схемы переработки монацита, бастнезита и лопарита.
2. Цифровизация и концепция «Индустрия 4.0» в металлургии: автоматизация, математическое моделирование и цифровые двойники агрегатов.

Билет № 13

1. Металлургия тантала и ниобия: разделение Ta/Nb, получение высокочистых металлов и их сплавов.
2. Энергоэффективность и ресурсосбережение в современных металлургических комплексах.

Билет № 14

1. Металлургия урана: кислотное и щелочное выщелачивание, экстракционная очистка урановых растворов.
2. Физико-химические основы легирования и получения сплавов с заданными свойствами.

Билет № 15

1. Методы получения высокочистых металлов (99.99% и выше): зонная плавка, электролитическое рафинирование, дистилляция.
2. Порошковая металлургия: получение порошков, формование, спекание. Применение в металлургии тугоплавких металлов.