

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ
Директор института ХТИ
Р. Н. Ястребинский
« 17 » мая 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

Тепломассообмен во вращающихся печах

Направление подготовки:

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии

Направленность программы:

Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов в
химической технологии вяжущих материалов

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

очная

Институт: Химико-технологический институт

Кафедра: Технологии цемента и композиционных материалов

Рабочая программа составлена на основании требований:


- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 г. № 923.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составитель: канд. техн. наук, доцент  (А.А. Гребенюк)

канд. техн. наук, доцент  (Л.С. Щелокова)

Рабочая программа обсуждена на заседании выпускающей кафедры
Технологии цемента и композиционных материалов
(наименование кафедры)

« 14 » мая 2021 г., протокол № 19

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, профессор  (И.Н. Борисов)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 15 » мая 2021 г., протокол № 9

Председатель канд. техн. наук, доцент  (Л.А. Порожнюк)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
ПК-2 Способен обеспечивать технологическое сопровождение процесса производства вяжущих материалов с позиции повышения его эффективности.	ПК-2.5. Применяет основные законы термодинамики и теории тепломассообмена для обеспечения рационального режима работы вращающихся печей и оптимизации, протекающих при обжиге, химико-технологических процессов, способствует повышению эффективности работы теплотехнического оборудования.	Знание: основные тепломассообменные процессы и физические явления, происходящие во вращающихся печах. представлять связь тепломассообменных процессов при обжиге клинкера во вращающихся печах с получением качественного готового продукта; Умение: осуществлять выбор способа реализации приемов энерго- и ресурсосбережения с учетом особенностей производства, сырьевой базы, климатических условий и возможностей использования вторичных и техногенных ресурсов; Навыки: основными понятиями и закономерностями тепломассообменных процессов, методами, приемами и направлениями энерго- и ресурсосбережения в производстве вяжущих и композиционных материалов;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Компетенция ПК-2 Способен обеспечивать технологическое сопровождение процесса производства вяжущих материалов с позиции повышения его эффективности.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Механическое оборудование (общий курс)
2	Оборудование цементных предприятий
3	Производственная эксплуатационная практика
4	Физическая химия силикатов
5	Процессы и аппараты защиты окружающей среды
6	Технология производства цемента
7	Основы компьютерного проектирования технологического оборудования
8	Теория горения топлива и тепловые установки в производстве вяжущих материалов
9	Химия вяжущих материалов
10	Производственная технологическая (проектно-технологическая) практика
11	Технология вяжущих и композиционных материалов с использованием техногенных продуктов
12	Оптимизация технологических процессов производства цемента с применением ЭВМ
13	Термодинамика силикатных систем
14	Тепломассообмен во вращающихся печах
15	Управление технологическим процессом производства цемента
16	Энергосбережение в производстве цемента
17	Производственная преддипломная практика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единиц, 180 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки:

Форма промежуточной аттестации ЭКЗАМЕН
(экзамен, дифференцированный зачет, зачет)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины, час	180	180
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	73	73
лекции	34	34
лабораторные	—	—
практические	34	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	5	5
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	107	107
Курсовой проект	—	—
Курсовая работа	—	—
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание	—	—
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	53	53
Экзамен	36	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем Курс 4 Семестр 7

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
1. Вводная лекция					
	Тепломассообменные процессы в технологии производства вяжущих материалов. Основное технологическое оборудование в производстве извести, гипса и цемента.	2	—	—	1
2. Основные положения теории теплообмена					
	Виды теплообмена, их физическая сущность. Понятия температурного поля, градиента температур, плотности теплового потока. Закон Фурье.	2	—	—	1
3. Теплопроводность в плоской и многослойной стенках					
	Коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.	2	2	—	3
4. Теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки					
	Закон Ньютона. Коэффициент теплопередачи. Методы расчета теплопроводности через плоскую и цилиндрическую стенки.	2	4	—	5
5. Конвективный теплообмен					
	Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Основные положения теории подобия. Профили скоростей и температур. Критерии теплового и гидравлического подобия.	2	4	—	5
6. Понятие о гидродинамическом и тепловом пограничном слое					
	Основные понятия. Сущность явлений в конвективном теплообмене. Критерии подобия Рейнольдса и Нуссельта.	2	—	—	1
7. Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Излучение газов.					
	Закон Планка, Стафана-Больцмана и Кирхгофа. Лучистый теплообмен между двумя параллельными плоскостями. Тепловые экраны. Излучение газов. Закон Бугера.	2	4	—	5
8. Основы расчета теплообменных аппаратов					
	Основные понятия. Расчет теплообменников. Определение конечных температур теплоносителей. Интенсификация процесса теплообмена в устройствах.	4	8	—	10
9. Теплообмен в свободном пространстве печи и аппаратов при обогреве открытой поверхности материала					
	Позонный тепловой баланс печи. Тепловые потоки.	4	2	—	4

	Методы расчета теплопередачи излучением. Конвективный теплообмен в подготовительной зоне печи мокрого способа. Эффективность способов навески цепных теплообменников. Методы расчета конвективного теплообмена во вращающихся печах, клинкерных барабанных холодильниках.				
<i>10. Тепловые потери тепловых агрегатов</i>					
	Определение потерь в окружающую среду поверхностью тепловых аппаратов. Работа колосникового холодильника переталкивающего типа.	2	—	—	1
<i>11. Влияние когезионных свойств шламов и отдельных компонентов на тепло- и массообмен в теплообменнике, оптимизация высокотемпературных процессов обжига клинкера.</i>					
	Изменение свойств шламов при высушивании в теплообменнике. Влияние отдельных компонентов на когезионные свойства шламов. Спекаемость шихт в зависимости от модульных характеристик. Величина диаметра получаемых гранул - критерий оптимизации спекания клинкера.	2	8	—	9
<i>12. Пути повышения стойкости футеровки во вращающейся печи</i>					
	Вид огнеупора, применяемого для футеровки отдельных зон. Формирование защитной обмазки и ее влияние на длительность службы огнеупорной футеровки. Влияние состава сырья, режима сжигания топлива и гранулометрии клинкера на стойкость футеровки.	2	—	—	2
<i>13. Особенности управления вращающейся печью при клинкерном пылении.</i>					
	Причины образования клинкерной пыли и клинкерного пыления. Способы недопущения клинкерного пыления.	2	2	—	3
<i>14. Управление вращающейся печью при использовании техногенных компонентов в качестве дополнительного питания</i>					
	Влияние дополнительного питания печи техногенными продуктами (шлаки, золы) на тепло- и массообмен по зонам печи, гранулометрию клинкера. Изменение удельного расхода топлива.	2	—	—	1
<i>15. Особенности управления печью при вводе выгорающих добавок совместно с сырьевыми компонентами</i>					
	Применение топливосодержащих техногенных отходов на протекание теплотехнических и физико-химических процессов при обжиге цементного клинкера. Изменение удельного расхода топлива.	2	—	—	2
	ВСЕГО	34	34	—	53

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
семестр № 7				
1	Теплопроводность в плоской и многослойной стенках	Теплообмен теплопроводностью	2	2
2	Теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки	Теплопередача через корпус теплообменного аппарата.	4	4
3	Конвективный теплообмен	Конвективный теплообмен в клинкерных холодильниках и обжиговых аппаратах.	4	4
4	Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Излучение газов.	Теплообмен в свободном печном пространстве.	4	4
5	Основы расчета теплообменных аппаратов	Определение размера печи мокрого способа заданной производительности. Перевод печи мокрого способа на комбинированный с установкой внутripечного или запечного суспензионного теплообменник	8	8
6	Теплообмен в свободном пространстве печи и аппаратов при обогреве открытой поверхности материала	Анализ работы вращающейся печи по составу отходящих газов.	2	2
7	Особенности управления вращающейся печью при клинкерном пылении	Тепломассообмен в зоне спекания вращающейся печи при клинкерном пылении.	2	2
8	Влияние когезионных свойств шламов и отдельных компонентов на тепло- и массообмен в теплообменнике, оптимизация высокотемпературных процессов обжига клинкера	Расчет цепной завесы при заданных свойствах шлама.	8	8
ИТОГО:			34	34

4.3. Содержание лабораторных занятий

Не предусмотрено учебным планом.

4.4. Содержание курсового проекта/работы

Не предусмотрено учебным планом.

4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий

Цель: закрепление практических навыков курса.

Структура РГР:

- титульный лист;
- индивидуальное задание;
- содержание;
- теоретические сведения;
- практическая часть: расчетные формулы; результаты расчета; графическое представление зависимостей и схем;
- заключение и рекомендации;
- список использованной литературы;
- приложения.

Темы расчетно-графических заданий:

1. Проектирование комплекса внутripечных теплообменных устройств.
2. Определение тепловых потерь участком корпуса вращающейся печи
3. Расчет эффективности применения различных видов огнеупоров футеровки.
4. Тепловой эффект образования обмазки
5. Расчет и оптимизация работы клинкерных холодильников.

В процессе выполнения расчетно-графического задания осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудитория и/или посредством электронной информационно-образовательной среды университета.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

Компетенция ПК-2 Способен обеспечивать технологическое сопровождение процесса производства вяжущих материалов с позиции повышения его эффективности.

(код и формулировка компетенции)

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-2.5. Применяет основные законы термодинамики и теории тепломассообмена для обеспечения рационального режима работы вращающихся печей и оптимизации, протекающих при обжиге, химико-технологических процессов, способствует повышению эффективности работы теплотехнического оборудования.	экзамен защита РГЗ тестовый контроль

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Вводная лекция	ПК-2	1. Тепломассообменные процессы в технологии производства вяжущих материалов. 2. Основное технологическое оборудование в производстве извести, гипса и цемента
2	Основные положения теории тепломассообмена		3. Виды теплообмена, их физическая сущность. 4. Понятия температурного поля, градиента температур, плотности теплового потока. 5. Закон Фурье.
3	Теплопроводность в плоской и многослойной стенках		6. Коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление. 7. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.
4	Теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки		8. Закон Ньютона. 9. Коэффициент теплопередачи. 10. Методы расчета теплопроводности через плоскую и цилиндрическую стенки.
5	Конвективный теплообмен		11. Конвективный теплообмен. 12. Закон Ньютона-Рихмана. 13. Основные положения теории подобия. Профили скоростей и температур. 14. Критерии теплового и гидравлического подобия.
6	Понятие о гидродинамическом и тепловом пограничном слое		15. Сущность явлений в конвективном теплообмене, основные понятия. 16. Критерии подобия Рейнольдса и Нуссельта.

7	Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Излучение газов.	17. Закон Планка, Стафана-Больцмана и Кирхгофа. 18. Лучистый теплообмен между двумя параллельными плоскостями. Тепловые экраны. 19. Излучение газов. Закон Бугера.
8	Основы расчета теплообменных аппаратов	20. Расчет теплообменников. 21. Определение конечных температур теплоносителей. 22. Интенсификация процесса теплообмена в устройствах.
9	Теплообмен в свободном пространстве печи и аппаратов при обогреве открытой поверхности материала	23. Позонный тепловой баланс печи. Тепловые потоки. 24. Методы расчета теплопередачи излучением. 25. Конвективный теплообмен в подготовительной зоне печи мокрого способа. 26. Эффективность способов навески цепных теплообменников. 27. Методы расчета конвективного теплообмена во вращающихся печах, клинкерных барабанных холодильниках.
10	Теплопотери тепловых агрегатов	28. Определение потерь в окружающую среду поверхностью тепловых аппаратов. 29. Работа колосникового холодильника переталкивающего типа.
11	Влияние когезионных свойств шламов и отдельных компонентов на тепло- и массообмен в теплообменнике, оптимизация высокотемпературных процессов обжига клинкера	30. Изменение свойств шламов при высушивании в теплообменнике. Влияние отдельных компонентов на когезионные свойства шламов. 31. Спекаемость шихт в зависимости от модульных характеристик. 32. Величина диаметра получаемых гранул - критерий оптимизации спекания клинкера.
12	Пути повышения стойкости футеровки во вращающейся печи	33. Вид огнеупора, применяемого для футеровки отдельных зон. 34. Формирование защитной обмазки и ее влияние на длительность службы огнеупорной футеровки. 35. Влияние состава сырья, режима сжигания топлива и гранулометрии клинкера на стойкость футеровки.
13	Особенности управления вращающейся печью при клинкерном пылении	36. Причины образования клинкерной пыли и клинкерного пыления. Способы недопущения клинкерного пыления.
14	Управление вращающейся печью при использовании техногенных компонентов в качестве дополнительного питания	37. Влияние дополнительного питания печи техногенными продуктами (шлаки, золы) на тепло- и массообмен по зонам печи, гранулометрию клинкера. Изменение удельного расхода топлива.
15	Особенности управления печью при вводе выгорающих добавок совместно с сырьевыми компонентами	38. Применение топливосодержащих техногенных отходов на протекание теплотехнических и физико-химических процессов при обжиге цементного клинкера. Изменение удельного расхода топлива.

5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы

Не предусмотрено учебным планом.

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

С целью текущего контроля и подготовки студентов к изучению новой темы вначале каждого практического занятия преподавателем проводится опрос по выполнению заданий предыдущей темы, а также выполнение практических заданий по темам дисциплины.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Содержание вопросов (типовых контрольных заданий)
1	Теплопроводность в плоской и многослойной стенках		<ol style="list-style-type: none"> 1. От чего зависит коэффициент теплопроводности? 2. Опишите механизм передачи тепла у газов, жидкости и твердых тел. 3. Приведите уравнение для вычисления общего количества тепла, переданного через плоскую однослойную и многослойную стенки. 4. Теплота передается теплопроводностью через 2-слойную цилиндрическую стенку длиной $L = 0,8$ м. Определить переданную теплоту Q в Вт, если внутренний диаметр 0,5 м; толщина первого слоя 0,05 м, второго – 0,025, $\lambda_1=1\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $t_{c1}=150^\circ\text{C}$; $\lambda_2=0,05\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $t_{c2}=100^\circ\text{C}$
2	Теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки		<ol style="list-style-type: none"> 5. Опишите характер изменения температуры в цилиндрической стенке. 6. Назовите условие, при котором влиянием кривизны стенки можно пренебречь. 7. Приведите уравнение для вычисления общего количества тепла, переданного через цилиндрическую однослойную и многослойную стенки. 8. Теплота передается от горячего теплоносителя к холодному через цилиндрическую стенку длиной $L = 0,5$ м. Определить удельный линейный тепловой поток q в Вт/м, если: $\alpha_1 = 500\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; $\alpha_2 = 50\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; $d_1/d_2=0,2/0,21$ м; $\lambda = 10\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\Delta t = 8\text{К}$.
3	Конвективный теплообмен		<ol style="list-style-type: none"> 9. Чем обусловлена интенсивность конвективного переноса тепла? 10. Назовите режимы движения жидкости. 11. Приведите закон Ньютона-Рихмана для вычисления величины конвективного теплообмена стационарных процессов. 12. В чем заключается суть теории подобия? 13. Назовите критерии подобия. 14. Зачем составляются критериальные уравнения?

		<p>15. Определите температуру на внешней поверхности вращающейся печи, диаметр «в свету» которой составляет 4,5 м, если температура на внутренней поверхности составляет 1250 °С, температура окружающего воздуха 20 °С. Толщина стальной обечайки 30 мм, печь футерована шамотом толщиной 250 мм. Скорость ветра равна 3 м/с. Скорость вращения печи не учитывать. Коэффициент теплопроводности стали и шамота равны 45,4 Вт/м·К и 0,39 Вт/м·К соответственно.</p>
4	Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Излучение газов	<p>16. Дайте определение тепловому излучению. 17. Какие тела называют серыми, абсолютно зеркальными, абсолютно прозрачными, абсолютно черными? 18. В чем заключается закон Планка? 19. Приведите формулу закона Стефана-Больцмана и дайте ему определение. 20. О чем свидетельствует степень черноты тела? 21. В чем заключается закон Бугера? 22. Приведите формулу Стефана-Больцмана с дополнениями Блоха для вычисления лучистой энергии в факельном пространстве вращающейся печи. 23. Вычислить плотность теплового потока на участке вращающейся печи, обусловленного лучеиспусканием от дымовых газов к поверхности вращающейся печи диаметром $d = 4$ м, толщина футеровки 200 мм. Газы содержат 9,5% CO_2 и 28,5% H_2O. Общее давление газов 10 кПа. Температура газов на входе в участок $t = 1000$ °С и на выходе $t = 700$ °С; средняя температура внутренней поверхности вращающейся печи $t = 500$ °С и степень черноты поверхности $\varepsilon = 0,85$.</p>
5	Основы расчета теплообменных аппаратов	<p>24. Дайте определение теплообменному аппарату. 25. Приведите уравнение теплового баланса для установившегося теплового режима. 26. Какие основные показатели работы и требования к конструкции тепловых установок. 27. За счет каких мероприятий возможно интенсифицировать процесс теплообмена в оборудовании? 28. Чему равна величина удельных потерь тепла от корпуса вращающейся печи, если температура на поверхности составляет 170 °С, а температура окружающего воздуха – 10 °С. Скорость ветра равна 5 м/с. Скорость вращения печи не учитывать.</p>
6	Теплообмен в свободном пространстве печи и аппаратов при обогреве открытой поверхности материала	<p>29. На какие три основные зоны делится вращающаяся печь по ходу обжигового процесса? 30. Приведите отличие характера передачи тепла в каждой из зон. 31. Перечислите между какими поверхностями происходит теплообмен. 32. Определить ориентировочные размеры</p>

			вращающейся печи мокрого способа производства производительностью по клинкеру 50 т/ч и расходом условного топлива 215 кут.
7	Особенности управления вращающейся печью при клинкерном пылении		<p>33. Схема управления вращающейся печью мокрого способа.</p> <p>34. Схема управления печью сухого способа с декарбонизатором.</p> <p>35. Рычаги для управления печью мокрого способа.</p> <p>36. Причины образования клинкерной пыли.</p> <p>37. Влияние КПД клинкерного холодильника на образование клинкерной пыли.</p> <p>38. Влияние фазового состава на развитие клинкерного пыления.</p> <p>39. Определить поверхность нагрева F в m^2 рекуперативного теплообменника при противотоке теплоносителей, если $Q = 52422$ кВт; $k = 60$ Вт/м²; $t_1 = 825$ °С; $t_{11} = 625$ °С; $t_2 = 15$ °С; $t_{22} = 475$ °С</p>
8	Влияние когезионных свойств шламов и отдельных компонентов на тепло- и массообмен в теплообменнике, оптимизация высокотемпературных процессов обжига клинкера		<p>1. Изменение адгезионно-когезионных свойств шламов при их высушивании.</p> <p>2. Изменение свойств шламов при вводе различного вида добавок.</p> <p>3. Назначение и функции теплообменных устройств.</p> <p>4. Какие существуют способы навески цепей?</p> <p>5. От каких факторов зависит размер формируемых гранул в низко- и высокотемпературных участках вращающейся печи.</p> <p>6. Взаимосвязь процессов образования гранул и обмазки.</p> <p>7. Как состав обжигаемого материала влияет на процесс образования обмазки?</p> <p>8. Рассчитать зависимость поверхностного коэффициента плотности от шага навески цепей и построить график. Шаг навески цепей изменяется от 100 до 200 мм с шагом 20 мм, число заходов винтовой линии – 6, ЦОН 25x100.</p>

Тестовый контроль осуществляется после прохождения каждого из разделов дисциплины. На тестирование отводится 30 минут.

1. Что не может быть отнесено к процессам теплообмена:

- а) тепловое излучение;
- б) конвекция;
- в) теплопроводность;
- г) агломерация.

2. Какой теоретически возможной температуры может достигнуть вторичный воздух при условии полной передачи тепла от клинкера охлаждающему воздуху (при мокром способе производства) :

- а) 800-900°С;
- б) 600-700°С;

- в) 500-600°C;
- г) 400-300°C.

3. Укажите основные причины возникновения клинкерного пыления:

- а) неправильный режим горения факела, быстрое охлаждение, высокая скорость вторичного воздуха в шахте холодильника;
- б) химический состав обжигаемого сырья, высокая скорость вторичного воздуха в шахте холодильника;
- в) быстрое охлаждение клинкера в холодильнике;
- г) недостаточная подготовка материала в зоне цепных завес.

4. Каким уравнением Ньютона определяется конвективный теплообмен:

а) $Pe = \frac{\omega d}{a}$;

б) $E_0 = \int_0^{\infty} I_{0\lambda} d\lambda = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4$;

в) $Q_k = \alpha_c (t_c - t_g) F$;

г) $q = -\lambda \frac{t_{cm2} - t_{cm1}}{\delta}$.

5. При нормальной работе печи $CO_{2\text{расч}}$ составляет 24-24,5 %, что будет произойдет в печи с увеличением этого параметра:

- а) увеличится температура в зоне спекания;
- б) снижается скорость газового потока;
- в) снижается количество жидкой фазы;
- г) снижается температура материала.

6. Чем руководствуются при подборе огнеупоров:

- а) температурой плавления огнеупора, температурой материала на границах зоны;
- б) температурой плавления огнеупора, температурой начала деформации под нагрузкой;
- в) температурой плавления огнеупора, температурой начала деформации под нагрузкой, возможностью протекания химических реакций между огнеупором и материалом;
- г) температурой газового потока, температурой материала на границах зон.

7. Что называют критической влажностью:

- а) влажность, при которой шлам начинает налипать на цепи;
- б) влажность, при которой на цепи находится минимальное количество шлама;
- в) влажность, при которой на цепях собирается максимальное количество шлама;
- г) влажность, при которой шлам окатывается в гранулы.

8. Для чего используют огнеупоры во вращающихся печах:

- а) для уменьшения рабочего объема агрегата (печи);
- б) для снижения потерь тепла через корпус;
- в) для интенсификации тепло- и массообменных процессов в печи;
- г) для снижения температуры отходящих газов.

9. Дайте определение CO_2 расч. :

- а) содержание углекислого газа в отходящих газах печи по газовому анализу;
- б) содержание углекислого газа от сгорания топлива в отходящих газах;
- в) содержание углекислого газа и кислорода в отходящих газах печи по газовому анализу;
- г) содержание углекислого газа в отходящих газах пересчитанное на $\alpha=1$.

10. Чем нельзя интенсифицировать теплообмен в горячей части теплообменных устройств где температура достигает 900-1100°C:

- а) использованием цепных теплообменников;
- б) использованием рожковых теплообменников;
- в) использованием ковриковых теплообменников;
- г) использованием циклоидных теплообменников.

11. Что не входит в расходные статьи баланса:

- а) тепло с клинкером;
- б) тепло со вторичным воздухом;
- в) тепло от сгорания топлива;
- г) потери тепла через корпус.

12. При каком значении критерия Re наступает турбулентный режим течения газа в трубе:

- а) > 2300 ;
- б) $2300 - 10000$;
- в) > 10000 ;
- г) < 2300 .

13. Какое выражение характеризует физический закон, определяющий ослабление параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающей среде (закон Бугера - Ламберта - Бера):

- а) $E = dQ / dF$;
- б) $I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l}$;
- в) $I_{sl} = c_1 l^{-5} / (e^{c/(lT)} - 1)$;
- г) $dE_s = I_{sl} * dl$.

14. На сколько зон можно разделить вращающаяся печь мокрого способа производства:

- а) 3;
- б) 4;
- в) 5;

г) 6.

15. От каких параметров работы вращающейся печи зависит диаметр гранул клинкера:

- а) от температуры отходящих газов и температуры клинкера выходящего из печи;
- б) от режима сжигания топлива, температуры вторичного воздуха;
- в) от влажности шлама, гранулометрического состава материала, выходящего из цепной завесы;
- г) от влажности шлама, гранулометрического состава материала выходящего из цепной завесы, температуры отходящих газов.

16. Что не оказывает влияние на агломерацию клинкера.

- а) способ укладки огнеупоров;
- б) диаметр вращающейся печи;
- в) вид сжигаемого топлива;
- г) свойства материала.

17. Последствия колебания слоя материала в печи:

- а) повышается сопротивление газовому потоку и увеличение расхода топлива;
- б) увеличивается проходное сечение и производительность печи;
- в) снижаются расход топлива и потери тепла через корпус;
- г) интенсифицируются процессы теплообмена.

18. Какое свойство материала нельзя отнести к сырьевому шламу:

- а) растекаемость;
- б) дисперсность;
- в) гидравлическая активность;
- г) эксергия.

19. Что нельзя отнести к технологическим параметрам работы печи:

- а) температура отходящих газов;
- б) остатки на ситах;
- в) расход топлива;
- г) температура клинкера.

20. От каких факторов зависит скорость горения топлива:

- а) от скорости разложения CaCO_3 ;
- б) от скорости химического взаимодействия и смешения с топливом O_2 ;
- в) от оперативности работы машиниста;
- г) от скорости газового потока.

21. Укажите преимущества сухого способа производства цемента перед мокрым:

- а) низкий расход топлива;
- б) простота схемы;
- в) более низкие выбросы в атмосферу;

г) высокое качество цемента, экономия электроэнергии.

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена, используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Компетенция ПК-2. Способен обеспечивать технологическое сопровождение процесса производства вяжущих материалов с позиции повышения его эффективности. (ПК-2.5)	
Знания	Знание терминов, определений, понятий теории тепломассообмена
	Знание основных закономерностей тепломассообменных процессов и физических явлений, происходящих во вращающихся печах
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретация знаний
Умения	Умение пользоваться приборами и оборудованием для обеспечения технологического процесса обжига клинкера
	Умение проводить вычисление параметров работы вращающихся печей
	Умение применять положения теории тепломассообмена для обеспечения рационального режима работы вращающихся печей и оптимизации протекающих при обжиге химико-технологических процессов
Навыки	Владеть навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой
	Владение навыками приобретенных знаний при решении задач по оптимизации технологического процесса обжига клинкера
	Владение навыками обработки полученных результатов вычислений
	Владение навыками применения закономерностей протекания тепломассообменных процессов при обжиге клинкера для обеспечения рационального режима работы вращающихся печей

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Компетенция ПК-2. Способен обеспечивать технологическое сопровождение процесса производства вяжущих материалов с позиции повышения его эффективности.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Знание терминов, определений, понятий	Не знает термины, определения и понятия	Знает термины и определения, но допускает неточности формулировок	Знает термины и определения	Знает термины и определения, может корректно сформулировать их самостоятельно
Знание основных закономерностей процессов и явлений	Не знает основные закономерности тепломассообменных процессов и физических явлений, происходящих во вращающихся печах	Имеет представление об основных тепломассообменных процессах и физических явлениях, происходящих во вращающихся печах	Знает основные тепломассообменные процессы и физические явления, происходящие во вращающихся печах	Знает все основные тепломассообменные процессы и физические явления, происходящие во вращающихся печах. Представляет связь рационального протекания тепломассообменных процессов во вращающихся печах с получением качественного готового продукта.
Объем освоенного материала	Материал освоен не полностью	Представляет связь протекающих во вращающихся печах тепломассообменных процессов с технологическими аспектами получения кондиционного продукта обжига. Знает основные физические величины и некоторые физические константы, знает определение,	Представляет связь протекающих во вращающихся печах тепломассообменных процессов с технологическими аспектами получения кондиционного продукта, способен повлиять на ход протекания технологического процесса посредством изменения параметров работы	Представляет связь протекающих во вращающихся печах тепломассообменных процессов с технологическими аспектами получения кондиционного продукта, знает факторы обеспечения оптимального протекания тепломассообменных процессов. Знает все основные

		смысл и единицы измерения физических величин	и вращающихся печей. Хорошо знает основные физические величины и физические константы, знает их определение, смысл и единицы измерения.	физические величины и физические константы, уверенно дает их определение, поясняет смысл и называет единицы измерения.
Полнота ответов на вопросы	Ответы на вопросы полные	на вопросы даны в достаточном объеме, но не раскрыта их сущность	на вопросы даны в полном объеме, при дополнительных вопросах допущены неточности.	и развернуто отвечает на все основные и дополнительные вопросы.
Четкость изложения и интерпретация знаний	Четкость изложения материала отсутствует.	Отсутствует структуризация изложенной информации, интерпретация основных положений теории тепломассообмена дается поверхностно.	Изложенная информация имеет структуризацию, интерпретация основных положений теории тепломассообмена дается в полном объеме.	Изложенная информация имеет четкую структуризацию, подчеркнуты основные направления оптимизации протекающих во вращающихся печах физико-химических процессов согласно положениям теории тепломассообмена.

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Умение пользоваться приборами и оборудованием для обеспечения технологического процесса обжига клинкера	Не умеет пользоваться приборами и оборудованием для обеспечения технологического процесса обжига	Работает на приборах и оборудовании для обеспечения технологического процесса обжига клинкера при	Самостоятельно работает на приборах и оборудовании для обеспечения технологического процесса обжига клинкера при	Самостоятельно работает на приборах и оборудовании для обеспечения технологического процесса обжига

	клинкера.	значительной сторонней помощи.	незначительной сторонней помощи.	клинкера.
Умение проводить вычисление параметров работы вращающихся печей	Не умеет проводить вычисление параметров работы вращающихся печей	С трудом применяет общие методы вычислений технологических параметров работы вращающихся печей.	Успешно применяет общие методы вычислений технологических параметров работы вращающихся печей.	Уверенно применяет общие методы вычислений технологических параметров работы вращающихся печей. Дает рекомендации по оптимизации режима работы тепловых установок.
Умение применять положения теории теплообмена для обеспечения рационального режима работы вращающихся печей и оптимизации протекающих при обжиге химико-технологических процессов	Не умеет применять законы для решения задач профессиональной деятельности	Допускает неточности и ошибки при выборе способа реализации приемов энергосбережения с учетом особенностей производства, сырьевой базы, климатических условий и возможностей использования вторичных и техногенных ресурсов.	Может осуществить выбор способа реализации приемов энергосбережения с учетом особенностей производства, сырьевой базы, климатических условий и возможностей использования вторичных и техногенных ресурсов.	Грамотно осуществляет выбор способа реализации приемов энергосбережения с учетом особенностей производства, сырьевой базы, климатических условий и возможностей использования вторичных и техногенных ресурсов.

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владеть навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой	Не использует учебную и научную литературу для подготовки к занятиям.	Не достаточно владеет навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.	Достаточно владеет навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.	Владеет навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой;
Владение методами решения задач по оптимизации технологического процесса обжига клинкера	Не владеет методами решения задач по оптимизации технологического процесса обжига клинкера.	В основном полное вычисление параметров протекания тепломассообменных процессов при наличии ошибок, которые не оказывают существенного влияния на окончательный результат.	Вычисление параметров протекания тепломассообменных процессов при наличии несущественных ошибок при вычислениях и построении графиков, рисунков, не влияющих на общий результат решения.	Полное вычисление параметров протекания тепломассообменных процессов при отсутствии ошибок в вычислениях и построениях графиков и рисунков, грамотное и аккуратное выполнение всех заданий, наличия вывода.
Владение навыками обработки полученных результатов вычислений	Не владеет навыками обработки полученных результатов вычислений	С дополнительной помощью обрабатывает и интерпретирует результаты вычислений	Сформированы навыки обработки и интерпретации результатов вычислений	Сформированы устойчивые навыки обработки и интерпретации результатов вычислений
Владение навыками применения закономерностей протекания тепломассообменных процессов при обжиге клинкера для обеспечения рационального режима работы вращающихся печей	Не владеет навыками применения закономерностей протекания тепломассообменных процессов.	С дополнительной помощью может оценить взаимосвязь тепломассообменных процессов при обжиге клинкера с обеспечением рационального режима работы вращающихся печей	Знает основные понятия и закономерности тепломассообменных процессов, методы, приемы и направления энерго- и ресурсосбережения в производстве вяжущих и композиционных материалов.	Исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает основные понятия и закономерности тепломассообменных процессов, методы, приемы и направления энерго- и ресурсосбережения в производстве вяжущих и композиционных материалов.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1.	Компьютерный класс кафедры ТЦКМ	Программы для расчета состава сырьевых смесей, теплового баланса печных агрегатов, система автоматизированного проектирования NanoCAD
2.	Учебная аудитория	Презентационная техника, комплект электронных презентаций: клинкерные холодильники, горелочные устройства, вращающиеся печи и др. Макеты цепных завес, основного и вспомогательного оборудования
3	Зал электронных ресурсов	Специализированная мебель, компьютерная техника подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.
4.	Читальный зал учебной литературы	Специализированная мебель, компьютерная техника подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1.	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2.	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3.	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4.	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5.	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Классен В.К. Технология и оптимизация производство цемента (учебное пособие). – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. – 308 с.
2. Марков, Б. Л. Учебно-справочное пособие по теплопередаче: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Металлургия" / Б. Л. Марков, И. В. Ткачук. - М. : Теплотехник, 2008. - 80 с.
3. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента.– Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2008. – 126 с.
4. Примеры и задачи по тепломассообмену : учеб. пособие для студентов вузов / В. С. Логинов [и др.]. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. - 256 с.
5. Дешко, Ю.И. Наладка и теплотехнические испытания вращающихся печей на цементных заводах / Ю.И. Дешко, М.Б. Креймер. М.: Стройиздат, 1966. - 242 с.
6. Мазуров Д.Я. Теплотехническое оборудование заводов вяжущих материалов: учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Я. Мазуров. – М.: Стройиздат, 1982. – 288 с.
7. Исаев С.И., Кожинов И.А., Кофанов В.И и др. Теория тепломассообмена: учебник для технических университетов и вузов. – 2-е изд., испр. и доп. / С.И. Исаев, И.А. Кожинов, В.И. Кофанов и др.; Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 1997. – 683 с.
8. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология : справ. в 2 кн. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. - М. : Теплотехник. - 2004. - 687 с.
9. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики) : справ. / А. А. Винтовкин. - М. : Машиностроение-1, 2001. - 487 с.
10. Тепломассообмен : метод. указания к выполнению лаб. работ для студентов специальности 250802 / сост.: И. Н. Борисов, Л. С. Дурнева. - Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2003. - 29 с.
11. Лисиенко, В. Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование : справочник : в 3 кн. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев ; ред. В. Г. Лисиенко. - М. : Теплотехник, 2003 – 604 с.
12. Теплотехника : учебник / ред. В. Н. Луканин. - 4-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2003. - 671 с.
13. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : учеб. пособие / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. - М. : Изд-во АСВ, 2005. - 460 с
14. Лисиенко, В.Г. Совершенствование и повышение эффективности энерготехнологий и производств (интегрированный энерго-экологический анализ: теория и практика): в 2-х т. : монография / В. Г. Лисиенко. - М. : Теплотехник, 2008 - ., Т. 1. - 2008. - 684 с.
15. Теплопередача / ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск : НГТУ, 2004. - 1981.
16. Теплотехника и теплотехническое оборудование технологии строительных изделий [Электронный ресурс] / В. В. Губарева. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова. Ч. II : Сушка твердых дисперсных материалов. - 2006. - 1 (дискета) эл.

диск.

17. Ерофеев, В. Л. Теплотехника: учеб. / В. Л. Ерофеев, П. Д. Семенов, А. С. Пряхин. - М.: Академкнига, 2006. - 488 с.

18. Техническая термодинамика и теплопередача: учебное пособие для неэнергетических специальностей вузов / В. В. Нащокин, А. В. Вавилов. - 4-е изд., стереотип. - М. : Аз-book, 2009. - 469 с.

19. Прибытков, И. А. Теоретические основы теплотехники : учеб. / И. А. Прибытков, И. А. Левицкий. - М. : АСАДЕМА, 2004. - 463 с.

20. Шарапов, Р. Р. Специальное оборудование заводов по производству цемента: учеб. пособие / Р. Р. Шарапов. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2006. - 143 с.

6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1 Сборник нормативных документов «СтройКонсультант» www.snip.ru - Доступ осуществляется в зале электронных ресурсов НТБ (к. 302).

2 Электронный читальный зал <https://elib.bstu.ru/>

Содержит полные тексты учебных и учебно-методических пособий, монографий, авторами которых являются преподаватели университета; учебных и учебно-методических изданий, приобретенных во внешних издательствах и книготорговых организациях; редких и ценных изданий из фонда научно-технической библиотеки. Доступ к электронному читальному залу осуществляется с компьютеров локальной сети университета и сети Интернет

3 Научная электронная библиотека eLIBRARY

Крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 19 млн научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 3900 российских научно-технических журналов, в том числе более 2800 журналов в открытом доступе. В настоящее время открыт доступ к 79 российским научно-техническим журналам. Доступ к ресурсу осуществляется с компьютеров локальной сети университета и в зале электронных ресурсов (к. 302).